Lane Medical Library

1901

ÜBER RADIOAKTIVE SUBSTANZEN.

INAUGURAL-DISSERTATION

ZUR ERLANGUNG

DER PHILOSOPHISCHEN DOCTORWÜRDE,

WELCHE MIT

GENEHMIGUNG DER HOHEN PHILOSOPHISCHEN FACULTÄT

DER

VEREINIGTEN FRIEDRICHS-UNIVERSITÄT

HALLE-WITTENBERG

AM DIENSTAG, DEN 19. NOVEMBER 1901

VORMITTAGS 11 UHR

ZUGLEICH MIT DEN ANGEHÄNGTEN THESEN

ÖFFENTLICH VERTEIDIGEN WIRD

FRITZ HENNING

AUS CARLSBURG.

OPPONENTEN:

HERR DR. PHIL. **G. BERNDT**

HERR CAND. PHIL. **A. BAUDLER.**

HALLE a. S. 1901.

DRUCK: „ARMINIUS", BUCH- UND VERLAGSDRUCKEREI, BERLIN SO. 16.

Digitized by the Internet Archive
in 2026

https://archive.org/details/IA40153703_0345

Meinen Eltern in Dankbarkeit gewidmet.

Inhalt.

Seite

1. Über die durch Thoroxyd inducierte Aktivität 7
2. Vergleichende Messungen des elektrischen Potentials mittels der Flamme und eines aus radioaktiver Substanz bestehenden Kollektors 43
3. Über die elektrolytische Leitfähigkeit des radioaktiven Chlorbaryums . 61

Über die durch Thoroxyd inducierte Aktivität.

Einige Eigenschaften der radioaktiven Substanzen lassen sich auf andere Körper dadurch übertragen, dass dieselben einfach in die Nähe der radioaktiven Substanz gebracht werden. Die Intensität der so erzeugten sekundären Aktivität wird noch grösser, wenn man Substanz und Körper in einen engen Raum bringt, und kann noch gesteigert werden, wenn man den zu aktivierenden Körper zur Kathode einer Batterie macht.

Auf Anregung von Herrn Professor Dr. Dorn unternahm ich es, nach einigen Richtungen hin die sekundäre Aktivität des Thoroxydes zu untersuchen. Vergleichende Versuche des Herrn Prof. Dorn ergaben, dass das Thoroxyd diejenige radioaktive Substanz ist, welche bei Beobachtungen über die inducierte Aktivität die am besten übereinstimmenden Werte liefert und am wenigsten von allerhand unkontrollierbaren Zufälligkeiten abhängig ist. Trotz der Vorzüge des Thoroxydes sind auch bei ihm selbst bei äusserlich gleichen Beobachtungs - Bedingungen Differenzen von wenigen Prozenten nicht zu vermeiden.

Es wurden Drähte resp. Metallstäbe und Metallplatten aktiviert. Die Anordnung der Versuche war im Allgemeinen folgende:

Das zu aktivierende Objekt wurde nach dem Vorgange von Rutherford[1]) zur Kathode gemacht und zusammen mit dem Thoroxyd, das durch Metallnetz elektrisch geschirmt war, in eine verschliessbare Messingröhre gebracht. Die umschliessende Röhre war in sämtlichen Versuchen Anode. Auf diese Weise wurde der betreffende Gegenstand etwa 1 Tag aktiviert, dann herausgenommen aus dem Rohr und leitend mit dem einen Quadrantenpaar eines Elektrometers in Verbindung gebracht. Das aktivierte Objekt wurde wieder in eine Röhre geführt, die zum positiven Pol einer Batterie gemacht wurde, während der negative Pol zur Erde abgeleitet war. Die Stärke der Aktivierung wurde dann an dem Ausschlag der Elektrometer-Nadel mit Hilfe von Fernrohr und Skala gemessen.

In meiner Absicht lag es zunächst, die Abhängigkeit der Aktivierungsintensität von der Oberflächengrösse der aktivierten Drähte und Metallstäbe festzustellen. Ferner kam es darauf an, die Aktivierung in verschieden grossen Cylindern vorzunehmen, um, wenn möglich, eine Abhängigkeit vom Aktivierungsraum zu konstatieren. Weiter liess sich vermuten, dass sich ein bemerkenswerter Unterschied herausstellen würde, wenn zur Aktivierung das ThO_2 in dünnen oder dicken Schichten zur Verwendung kam, da Herr Rutherford der Ansicht ist, dass bei dicker Schicht die Emanation, bei dünner Schicht die Strahlung überwiegt.[2]) Zu diesem Zwecke war es geeigneter, Metallplatten und keine Drähte zu aktivieren. Eingehende Untersuchungen bezogen sich ferner darauf, die Abhängigkeit der Aktivierungsintensität von der elektrischen Potentialdifferenz festzustellen.

---

[1]) Rutherford Phil. Mag. (5) p. 161. 1900.
[2]) Rutherford Phil. Mag. (5) 49 p. 1. 1900.

Herr Rutherford hat in dieser Richtung zwar schon Versuche angestellt.[1]) Er scheint aber nur Spannungen bis zu 50 Volt benutzt zu haben; ich habe mit solchen bis zu 300 Volt gearbeitet.

Für die Untersuchungen waren notwendigerweise zwei Zimmer erforderlich, die möglichst weit von einander entfernt waren. In dem einen, das sich im 1. Stock des physikalischen Instituts befand, wurde die Aktivierung vorgenommen, in dem andern, einem nach Westen hinausgehenden Zimmer im 2. Stock des Gebäudes, wurde die Elektrometer-Untersuchung ausgeführt. Es wurde stets vermieden, radioaktive Substanzen in dies 2. Zimmer zu bringen, um dadurch nicht die Isolierfähigkeit der Luft zu verschlechtern und die Beobachtungen am Elektrometer zu beeinflussen. Ein anderer Raum des physikalischen Institutes, in dem vorher längere Zeit mit radioaktiven Substanzen gearbeitet worden war, zeigte sich für meinen Zweck unbrauchbar, da eine schlechte Isolierfähigkeit der Luft mittels eines Braunschen Elektrometers leicht nachgewiesen werden konnte.

Die Aktivierungsbatterie bestand aus kleinen Accumulatoren, von denen sich je 50 in einem Kasten befanden. Zwei der Kästen gestatteten nur, alle 50 Accumulatoren gleichzeitig zu benutzen, während ein dritter Kasten so eingerichtet war, dass je nach Belieben 1 bis 50 Accumulatoren eingeschaltet werden konnten. Rechnet man die Spannung jedes Accumulators zu 2 Volt, so war es also möglich, von 0 bis 300 jede gerade Anzahl Volt zu schalten. Im allgemeinen habe ich die Spannungen 2, 4, 50, 100, 200, 300 Volt gewählt. Auch wurden Untersuchungen ohne

[1]) Rutherford Phil. Mag. (5) 49 p. 161. 1900.

elektromotorische Kraft angestellt und solche mit der Spannung 1 Volt. In letzterem Falle wurde ein Calomel-Element verwendet, das nahezu ein Volt Spannung besitzt.

Es wurden vier verschiedene Drähte und Metallstäbe benutzt, drei derselben waren aus Messing hergestellt und nur der dünnste aus Platin. Diese Verschiedenheit der Metalle brauchte kein Bedenken zu erregen, da Herr Rutherford gezeigt hat[1]), dass die inducierte Aktivität unabhängig von der Verschiedenheit des Materials ist. Die Drähte hatten folgende Dimensionen und Bezeichnungen:

Name	Länge	Durchmesser	Fläche
	mm	mm	mm²
I	106,2	0,591	197,8
II	109,3	2,335	806,5
III	109,9	3,997	1393
IV	109,5	6,012	2087

Die Accumulatorenbatterie stand unter einem Tisch. Auf demselben befand sich ein auf Paraffin stehendes Eisenstativ, in das jene anfangs schon erwähnte Messingröhre, in der die Aktivierung vorgenommen werden sollte, horizontal eingeklemmt wurde. Da ich die Abhängigkeit der Aktivierungsintensität vom Raum untersuchen wollte, so musste ich 2 Röhren von verschiedenen Dimensionen verwenden. Die kleinere, welche mit A bezeichnet werden möge, hatte eine Länge von 25 cm (wovon auf jeder Seite 1 cm abging wegen der einzusetzenden Paraffinstopfen), einen Durchmesser von 4,2 cm, also einen Rauminhalt von 319 ccm. Die grössere, ebenfalls aus Messing gefertigte Röhre B hatte die Dimensionen: Länge 25 cm,

[1]) Rutherford Phil. Mag. (5) 49. p. 161. 1900.

Durchmesser 8 cm, Rauminhalt 1257 ccm. Röhre A war völlig cylinderförmig und an beiden Seiten mit Paraffin verschliessbar. B hatte eine Gestalt, wie sie am besten aus Figur 1 zu ersehen ist, die den Längsschnitt der Röhre darstellt. Die eine Seite von B war mit einem Metalldeckel verschliessbar, die andere mit einem Paraffinstopfen vom Querschnitt der Röhre A. In die Messingröhre wurde ein kleiner Metalltrog mit Thoroxyd gesetzt, der die Form eines geraden Cylindersegments vom Radius der Röhre A hatte (Figur 2). Die Höhe des aus Messing hergestellten Troges betrug 0,9 cm, seine Länge 8 cm. An der rechteckigen 3,3 cm breiten Fläche war er durch ein sehr feines doppeltes Messingdrahtnetz fest verschliessbar. Das Netz hatte vor allen Dingen den Zweck, feine Stäubchen des ThO_2 zurückzuhalten und zu verhindern, dass sich dieselben an den zu aktivierenden Draht oder Stab ansetzten und dadurch die beabsichtigten Erscheinungen störten. Das Drahtnetz erfüllte gleichzeitig noch eine zweite wichtige Aufgabe, indem es nämlich verhinderte, dass das ThO_2 selber der Wirkung der Potentialdifferenz ausgesetzt wurde. Das Thoroxyd befand sich ganz im Innern einer metallischen Hülle, die eine Schirmwirkung vor allen elektrischen Einflüssen ausübte. Das Thoroxyd wurde in einer Menge von 3,457 g in den Trog gebracht und möglichst gleichmässig in ihm verteilt. In der Mitte hatte die Schicht des ThO_2 ungefähr eine Höhe von 3 mm; nach den Seiten zu natürlich abnehmend, wie es die Gestalt der Schale bedingte. Die Drähte und Stäbe wurden nun zwecks ihrer Aktivierung oberhalb dess ThO_2 so angebracht, dass ihre Achse von dem erwähnten feinen Drahtnetz einen Abstand von ca. 12 mm hatte. Um dieselbe Entfernung auch bei der Aktivierung in der Röhre B festzuhalten, durfte

hier nicht, wie es in A geschah, der Trog mit dem ThO_2 auf den Boden der Röhre gesetzt werden, sondern auf ein kleines Drahtgestell, mit Hilfe dessen der geforderte Abstand gerade erreicht wurde. Das Drahtgestell berührte die Röhre an 4 Punkten und stand also mit ihr in genügendem Kontakt.

Die Drähte und Metallstäbe waren so eingerichtet, dass sie auf andere Metallstäbe, die ihrerseits in Paraffinstopfen festsassen, gesteckt werden konnten. Dadurch war es ermöglicht, die sekundäre Aktivität der Drähte allein ohne die der störenden Paraffinstopfen zu messen. Die Paraffinstopfen wurden in die Aktivierungsröhre fest und möglichst gerade eingesetzt. Es wurde darauf geachtet, dass die Stäbe und Drähte horizontal gerichtet waren, d. h. parallel zur Fläche des Drahtnetzes verliefen. Diese Vorsicht war notwendig, damit die beiden Pole der Batterie, die sich hier gegenüberstanden, nicht in bedenkliche Nähe gebracht wurden, ferner aber auch deswegen, weil es von vornherein nicht unwahrscheinlich war, dass die Aktivierungsintensität sich änderte, je nach dem Abstand, den der Draht vom ThO_2 hatte. Es war leicht, mich zu überzeugen, ob die Drähte die gewünschte Lage hatten, indem ich von der andern Seite der Röhre, die hier mit einem 2. Paraffinstopfen resp. einem Metalldeckel fest verschlossen werden konnte, hineinblickte. Der positive Pol der Batterie wurde unmittelbar mit einem an die Messingröhre angelöteten Kupferdraht verbunden, und somit der Messingtrog und die ganze Röhre zur Anode gemacht, während der negative Pol an den zu aktivierenden Draht geschlossen wurde. Zwischen dem negativen Pol und der Batterie war noch ein sonst isolierter Rheotanwiderstand von ca. 75 Ohm eingeschaltet, um

die Wirkung eines etwaigen zufällig eintretenden Kurzschlusses nicht zu verhängnisvoll werden zu lassen. Zwecks einfacher Anlegung der Batterie befand sich neben dem Rheotanwiderstand ein Stromunterbrecher. Nachdem die Röhre beiderseits fest verschlossen war, wurde, wenn die Uhr gerade eine volle Minute zeigte, mittels des Unterbrechers das Potential angelegt und die Zeit genau notiert.

Auf diese Weise wurden Drähte und Metallstäbe ca. einen Tag lang, genauer zwischen $21^3/_4$ und 22 Stunden lang, aktiviert, um dann mit Hilfe des Elektrometers auf ihre Aktivität geprüft zu werden.

Ich benutzte ein Mascartsches Quadrantenelektrometer, das auf einem festen Wandbrett in der Nähe des Fensters aufgestellt wurde. Die Ausschläge der Nadel wurden mittels Fernrohr und Skala abgelesen, das sich nach der Mitte des Zimmers zu 2 Meter vom Elektrometer entfernt befand. Bei jeder Ablesung wurde die Zeit genau berücksichtigt. Das geschah mit Hilfe von Taschenuhr und Sekundenpendel. Letzteres stand dicht neben dem Fernrohr, um nötigenfalls während der Beobachtung in genaue Uebereinstimmung mit den Sekundenangaben der Taschenuhr gebracht werden zu können.

Vor dem linken Fenster des Zimmers stand ein Tisch ganz in der Nähe des Wandbrettes und des Elektrometers. Der Tisch war zum grossen Teil mit Bleiblechen belegt, die sämtlich an Erde geschlossen waren. Es wurde überhaupt auf das Peinlichste beachtet, alle äussern elektrischen Einflüsse unschädlich zu machen. Das Fenster, vor dem der Tisch stand, wurde einen Meter hoch mit Eisendrahtnetzen benagelt, die auch alle an Erde gelegt waren. Sämtliche auf dem Tisch stehenden Apparate wurden mit $^1/_2$ Meter

hohen, vertikal aufgestellten Drahtnetzen nach dem Fenster zu noch besonders abgeschlossen; entsprechend das Elektrometer selber durch ein 80 cm hohes Blech. Das Wandbrett war an der Stelle, die am meisten einer Berührung ausgesetzt war, mit Staniol belegt. Schliesslich wurde noch ein grösseres Blech derart auf dem Tisch aufgestellt, dass die ganzen dort stehenden Apparate auch von der Seite, auf der das Fernrohr stand, und von wo aus ich beobachten musste, gegen elektrische Einflüsse geschützt waren. Alle diese Schutzbleche und Gitter standen mit der Erde in leitender Verbindung. Ich selbst setzte bei jeder Beobachtung eine Staniolkappe auf, die meine Stirn berührte, um die in den Haaren entstehende Elektrizität auch unschädlich zu machen. Schliesslich berührte ich jedesmal eine Erdleitung, um meinen Körper selbst zu entladen.

Unter dem Wandbrett fand auf einem niedrigen Tischchen eine Batterie von 100 Latimer-Clark-Elementen Platz, mit deren positivem Pol die Nadel des Elektrometers geladen wurde. Der andere Pol wurde an Erde gelegt: ebenso stand das eine Quadrantenpaar, das gleichzeitig mit den ganzen äussern Metallteilen des Elektrometers verbunden war, mit der Gasleitung in Kontakt. Von der zum erwähnten Quadrantenpaar gehörigen Klemmschraube ging noch ein freies Stück Kupferdraht von ca. 12 cm Länge aus, das durch ein kurzes Stückchen engen Bleirohrs beschwert war. An dem Kupferdraht war ein sehr dünner Messingdraht befestigt, der über einen eisernen Haken lief und sich schliesslich in einem längeren Seidenfaden fortsetzte. Dieser Seidenfaden wurde bis zu dem Tisch, auf dem sich das zur Ablesung bestimmte Fernrohr befand, fortgeführt, sodass es von hier aus möglich war, den

12 cm langen Kupferdraht zu heben und zu senken. Dieser Draht war nämlich so eingerichtet, dass er auf einen andern Draht, der mit dem 2. Quadrantenpaar in Verbindung stand, fallen konnte, und somit gestattete, auch dies Quadrantenpaar bequem an Erde zu legen. Es wurde darauf geachtet, dass bei dem Heben oder Senken des Kupferdrahtes die an dem Eisenhaken stattfindende Reibung möglichst geringe Störung hervorrief. Zu diesem Zwecke wurde vermieden, den Seidenfaden über den Haken zu führen, da hierbei immerhin eine merkliche Menge von Elektricität hätte entstehen können. Bei der Reibung des sehr dünnen Messingdrahtes an dem Haken war dies weniger zu befürchten.

Auf dem mit Bleiplatten belegten Tisch standen 2 eiserne Stative und noch eine Batterie von 100 Clark-Elementen. Eins der Stative, das durch Paraffin von dem Tisch isoliert war, trug eine horizontal gerichtete Messingröhre von 25 cm Länge und 4,2 cm Durchmesser, also von genau denselben Dimensionen wie die mit A bezeichnete Aktivierungsröhre. An die Messingröhre, die senkrecht zur Fläche des Fensters und in einer Entfernung von etwa 80 cm tangential zum Elektrometer verlief, war ein Kupferdraht angelötet, der mit dem positiven Pol der Clark-Batterie verbunden wurde. Der negative Pol wurde an Erde gelegt. Das 2. der erwähnten Stative war nicht isoliert und dazu bestimmt, einen Paraffinstopfen zu tragen, durch dessen Mitte ein Messingstab gesteckt war. Einerseits konnte dieser Messingstab mit dem 2. Quadrantenpaar des Elektrometers verbunden werden, während auf seinem andern Ende die aktivierten Metalldrähte aufgesteckt wurden. Es braucht kaum erwähnt zu werden, dass die hier benutzten Paraffin-

stopfen nie absichtlich aktiviert waren. Das Stativ wurde so eingestellt, dass der zu untersuchende Draht horizontal gerichtet war und mit der Achse der Messingröhre möglichst in dieselbe Gerade fiel. Dann wurde das Stativ der Messingröhre soweit genähert, dass der Draht von der Röhre fast ganz verdeckt wurde und zwischen Röhre und Paraffinstopfen nur ein Raum von 1 bis 2 mm freiblieb. Dies geschah, um ein Ueberkriechen der auf dem aktivierten Draht befindlichen elektrischen Ladung auf die Röhre zu vermeiden. Bisweilen hatte es den Anschein, als wenn die Röhre selbst, vielleicht in Folge tertiärer Aktivierung [1]), die Fähigkeit hatte, die Luft etwas leitend zu machen. Nach einer längeren Beobachtungsreihe vertauschte ich darum regelmässig die Röhre mit einer zweiten genau identischen, die dann längere Zeit nicht benutzt worden war.

Zunächst wurden auf die beschriebene Art stets beide Quadrantenpaare an Erde gelegt. Nachdem dann der aktivierte Gegenstand in die Röhre gebracht war, wurde durch Ziehen an dem Seidenfaden die Erdleitung des 2. Quadrantenpaares aufgehoben, und somit die durch die leitend gemachte Luft von der Röhre zum Draht geführte Elektricität in dies Quadrantenpaar geleitet.

Die beiden sich gegenüberstehenden Quadrantenpaare kann man ebenso wie das aus Röhre und Draht bestehende System als Kondensatoren auffassen. Das 2. Quadrantenpaar und der Draht stehen in leitender Verbindung; das Ganze bildet also einen Doppelkondensator. In der Figur 3 sind die beiden Quadrantenpaare angedeutet durch Q_1 und Q_2, die

[1]) E. Dorn. Abh. der naturf. Ges. Halle 1900.

Röhre durch R, der Draht durch D. R sei auf das Potential V_0 geladen. Nach einer bestimmten Zeit habe Q_2 D das Potential V. Q_1, das immer mit der Erde in Verbindung steht, hat das Potential Null. Die von R auf Q_2 D in der Zeit dt übergehende Elektricitätsmenge nehme ich als proportial mit der Potentialdifferenz an und setze sie

$dM_1 = f. (V_0—V) dt$. Die infolge von Isolationsfehlern etc. von Q_2 auf Q_1 übergehende Electricitätsmenge ist entsprechend zu setzen als

$dM_2 = F. V dt$. Dabei sind f und F Proportionalitätsfaktoren. Während der Zeit dt erfährt also die auf Q_2 D befindliche Elektricitätsmenge M einen Zuwachs von

$$dM = dM_1 — dM_2 = [f (V_0—V) — FV] dt.$$

Ist die Gesamtkapazität des Doppelkondensators C, so wird C definiert durch die Gleichung

$$C = \frac{dM}{dV}, \text{ also ist}$$

$$CdV = [f (V_0—V) — FV] dt = [f V_0—V (f+F)] dt,$$

oder wenn man die Gleichung zunächst unbestimmt integriert:

$$-\frac{C}{f+F} \log \text{nat } [f V_0—V (f+F)] = t + \text{const.}$$

Beginnt man die Zeit mit dem Augenblick zu zählen, in dem die Erdleitung von Q_2 aufgehoben wird, so ist für $t = 0$ auch $V = 0$. Die Integrationsgrenzen sind $t = 0$ und $t = t$. Also ergiebt sich der Wert von V, der nach der Zeit t erreicht ist, aus dieser Gleichung:

$$\frac{C}{f+F} \log \text{nat} \left| \frac{f V_0}{f V_0—V (f+F)} \right| = t, \text{ hieraus folgt:}$$

$$f V_0 \left(1—e^{-t\frac{f+F}{C}}\right) + V (f+F) e^{-t\frac{f+F}{C}} = 0 \text{ oder}$$

$$1.)\ f\ V_0\left(e^{-t\frac{f+F}{C}}-1\right)+V\ (f+F)=0 \text{ oder}$$

$$V=\frac{f\ V_0}{f+F}\left[1-e^{-t\frac{f+F}{C}}\right]$$

Nach Kohlrausch [1]) ist der Nadelausschlag α des Elektrometers in dem Falle, dass Q_2 auf das Potential V, Q_1 auf das Potential 0 und die Nadel auf das Potential N geladen ist:

$\alpha = c\ V\ (N - {}^1/_2\ V)$, wenn c die Elektrometerkonstante bedeutet. Aus dieser Gleichung folgt:

$V = N \pm \sqrt{N^2 - \frac{2\alpha}{c}}$ Da für $\alpha = 0$ auch $V = 0$ sein muss, so folgt, dass nur das negative Zeichen brauchbar ist.

Also $V = N - \sqrt{N^2 - \frac{2\alpha}{c}} = N - N\sqrt{1 - \frac{2\alpha}{c\,N^2}}$

α ist bei meinen Beobachtungen stets ein kleiner Winkel. Bei einem Skalenabstande von etwa 200 cm ergab sich auf der Skala im Maximum ein Wert von ca. 16 cm. Also war der grösste Wert von $\operatorname{tg}\alpha = {}^{16}/_{200} = 0{,}08$. α selbst folgt daraus auch zu 0,08. Ich will 2. und höhere Potenzen von $\frac{\alpha}{c\,N^2}$ gegen die erste vernachlässigen und setzen $V = \frac{\alpha}{c\,N}$.

Das nächste Glied der Entwickelung würde lauten ${}^1/_2\ \frac{\alpha^2}{c^2\ N^3}$ —. Es lässt sich zeigen, dass dies Glied im ungünstigsten Falle klein ist von der Ordnung $\frac{\alpha}{c\,N}\ {}^1/_{100}$.

Um die Empfindlichkeit des Elektrometers zu bestimmen, wurde an das 2. Quadrantenpaar ein

[1]) Kohlrausch Leitf. der prakt. Physik 8. Aufl. p. 401.

Latimer-Clark-Element angeschlossen, und der Ausschlag beobachtet. Derselbe war etwa halb so gross wie der grösste für α beobachtete Wert. Setzt man die Spannung eines Clark-Elementes rund $= 1{,}4 = \frac{N}{100}$, so ist nach der bereits citierten Formel

$$^1/_2\,\alpha\,\text{max.} = c\,\frac{N}{100}\left(N - \frac{N}{200}\right) \text{ oder nahe}$$

$$^1/_2\,\alpha\,\text{max.} = c\,\frac{N^2}{100};\ \text{also}\ c = \frac{50\,\alpha\,\text{max.}}{N^2}$$

Hat man es im ungünstigsten Falle mit dem Maximalwert von α zu thun, so ist das erste Glied der Entwickelung $\frac{\alpha}{c\,N} = \frac{N}{50} = \frac{143}{50} = 2{,}86$ Volt.

Das zweite Glied der Entwickelung lautet dann

$$^1/_2\,\frac{\alpha^2}{c^2\,N^3} = \frac{N}{2.\,2500} = \frac{143}{5000} = 0{,}0286.$$

Im ungünstigsten Falle erreicht das 2. Glied der Entwickelung also den 100. Teil des 1. Gliedes. Es kann also mit ausreichender Genauigkeit die Entwickelung schon nach dem 1. Gliede abgebrochen werden.

Aus dem Ausschlag α ergiebt sich also der Wert V, das ist das Potential des Drahtes und des 2. Quadrantenpaares. Setzt man diesen Wert von V in Gleichung 1) ein, so folgt:

$$2.)\ f\,V_0\left(e^{-t\,\frac{f+F}{C}} - 1\right) + \frac{\alpha}{N\,c}\,(f+F) = 0.$$

Beobachtet werden von den Grössen dieser Gleichung α und t, konstant gehalten (bis auf später zu erörternde kleine Differenzen wegen Temperaturänderung) wurden N und V_0. Weiter sind F und C Konstante. Die einzige Grösse, welche nicht konstant und gleichzeitig

unbekannt ist, ist f. Sie besteht aus 2 Teilen: aus einer für alle Beobachtungen konstanten Grösse, nämlich der für nicht leitende Luft giltigen Proportionalitätsgrösse, die mit der Potentialdifferenz von Röhre und Draht multipliziert werden muss, um die in der Zeiteinheit übergehende Elektricitätsmenge zu erhalten, andererseits aus einer variablen Grösse, die proportional mit der Leitfähigkeit der durch den aktivierten Draht beeinflussten Luft ist. Diese letztere Grösse ist die, welche eigentlich ermittelt werden soll und die als Mass der induzierten Aktivität angesehen werden soll. Nennt man die beiden in f enthaltenen Grössen f_1 und x, wobei f_1 die Konstante bedeutet, so setze ich $f = f_1 + x$.

Gleichung 2), aus der f berechnet werden soll, ist transcendent. Eine Lösung lässt sich durch Reihenentwickelung der Exponentialgrösse finden, wenn $\frac{f+F}{C}$ klein ist und wenn t nicht zu gross wird. Ob $\frac{f+F}{C}$ klein ist und von welchem Grade, lässt sich nicht ohne Weiteres ersehen. Eine Prüfung, ob die gefundene Lösung ausreicht, ist sofort durch den Grad ihrer Uebereinstimmung mit den durch die Beobachtung gefundenen Werten gegeben. Es ist

$$e^{-t\frac{f+F}{C}} - 1 = -\frac{t\,(f+F)}{C} + {}^1/_2 \cdot \frac{t^2\,(f+F)^2}{C^2} - \ldots$$

Beachtet man nur die erste Potenz von $\frac{t\,(f+F)}{C}$ so lautet Gleichung 2)

$$-f\,V_0\,t\,\frac{f+F}{C} + \frac{\alpha}{Nc}\,(f+F) = 0.$$

Da (f+F) nicht 0 sein kann, so folgt aus dieser Gleichung:

$$f = \frac{\alpha}{t} \frac{C}{N V_0 c}.$$

f ist jene Grösse, die nach Rutherford [1]) in 11 bis 12 Stunden auf die Hälfte ihres Anfangswertes zurückgeht. Für meine Beobachtungen überschritt t nie den Wert von 2 Minuten. Während dieser Zeit konnte eine Aenderung von f noch nicht merklich sein. Es musste nach dieser Formel also Proportionalität zwischen α und t stattfinden. Das war zwar angenähert, aber nie ganz genau der Fall. α wuchs relativ etwas langsamer als t. Es ist daher nötig, mindestens ein weiteres Glied aus der Entwickelung der Exponentialgrösse zu verwenden. Dann ergiebt sich:

$$-f V_0 t \frac{f + F}{C} + f \frac{V_0}{2} t^2 \frac{(f + F)^2}{C^2} + \frac{\alpha}{Nc}(f+F)=0$$

Wieder kann durch f+F dividiert werden. Dann bleibt $f \frac{V_0 t}{C}\left[\frac{t}{2}\frac{(f+F)}{C} - 1\right] + \frac{\alpha}{Nc} = 0$, oder wenn man entwickelt und nach dem ersten Gliede die Reihe abbricht: $f = \frac{\alpha}{Nc} \frac{C}{V_0 t}\left[1 + \frac{t}{2}\frac{(f+F)}{C}\right]$ Im Vergleich mit dem durch erste Näherung gefundenen Werte erkennt man sofort, dass das 2. Glied in der Klammer ein Korrektionsterm ist und die eben ausgeführte Entwickelung statthaft ist. In den Korrektionsterm setze ich den in erster Näherung erhaltenen Wert für f ein und erhalte

$$f = \frac{\alpha}{Nc} \frac{C}{V_0 t}\left[1 + \frac{t}{2 C}\left(\frac{\alpha}{Nc} \frac{C}{V_0 t} + F\right)\right] \text{ oder}$$

[1]) Rutherford: Phil. Mag. (5) 49. p. 161. 1900.

$$f = \frac{\alpha\ C}{Nc\ V_0\ t}\left[1 + \frac{\alpha}{2\ Nc\ V_0} + \frac{F\ t}{2C}\right]$$

Der 2. Term in der Klammer ist so klein, dass er mit genügender Annäherung gegen 1 vernachlässigt werden kann. Handelt es sich wieder um den Maximalwert von α, so ist, wie vorher gefunden $c = \frac{50\ \alpha}{N^2}$: da nun aber $V_0 = N$ ist, so ist der 2. Term $\frac{\alpha}{2\ Nc\ V_0} = \frac{1}{100}$. Dann folgt also, dass f proportional dem Winkel α oder, da α sehr klein ist, proportional dem auf der Skala abgelesenen Wert ist. Es bestätigt die neue Formel nun auch meine Beobachtung, dass nämlich α nicht proportional der Zeit, sondern langsamer wächst. Der Betrag dieser Differenz für nicht zu grosse Zeiten ist nur klein. Man wird sich also mit grosser Annäherung der abgeleiteten Gleichung zu den weiteren Rechnungen bedienen zu dürfen.

Aus der gefundenen Gleichung erhält man für 2 verschiedene Zeiten $t = t_1$ und $t = t_2$, denen resp. die Werte $\alpha = \alpha_1$ und $\alpha = \alpha_2$ zugehören mögen:

$$f = \frac{\alpha_1\ C}{Nc\ t_1\ V_0}\left[1 + \frac{\alpha_1}{2\ Nc\ V_0} + \frac{F\ t_1}{2\ C}\right]$$

$$f = \frac{\alpha_2\ C}{Nc\ t_2\ V_0}\left[1 + \frac{\alpha_2}{2\ Nc\ V_0} + \frac{F\ t_2}{2\ C}\right]$$

Um den Wert von f nicht aus einer Ablesung bestimmen zu müssen, notierte ich die Skalenteile die 1. Minute lang alle 10 Sekunden und ferner nach Ablauf von 2 Minuten. Die ersten Ablesungen schwankten gewöhnlich und blieben unsicher. Daher entschloss ich mich, nur die für $t = 1$ Minute und $t = 2$ Minuten abgelesenen Werte zur Rechnung zu verwenden. t_1 und t_2 sind demnach für meine ganzen Beobachtungen

Konstante, und zwar ist $t_2 = 2t_1$; α_2 ist nahe $2\alpha_1$. Obige Gleichungen kann man darum schreiben:

$f = \frac{\alpha_1 C}{Nc\ t_1\ V_0}(1+\varepsilon)$ und $f = \frac{\alpha_2 C}{Nc\ t_2\ V_0}(1+2\varepsilon)$. Also

$\frac{\alpha_1}{t_1}(1+\varepsilon) = \frac{\alpha_2 (1+2\varepsilon)}{2t_1}$ oder indem man ε^2 gegen 1 vernachlässigt: $\alpha_1 = \frac{\alpha_2}{2}(1+\varepsilon)$.

Wie oben gezeigt, kann man mit genügender Annäherung annehmen, dass ε unabhängig von α ist. Dann folgt also, dass α_2 proportional α_1 ist.

Bevor ich auf die Art der thatsächlichen Berechnung von f gnnauer eingehe, will ich noch auf einen wichtigen Punkt hinweisen.

An jedem Tage wurde einmal die Empfindlichkeit des Elektrometers in der Weise bestimmt, dass das zweite Quadrantenpaar, wie bereits erwähnt, mit einem Latimer-Clark Elemente verbunden wurde. Der dabei auf der Skala abgelesene Wert (er heisse E) möge schlechtweg als Empfindlichkeit bezeichnet werden. Während der Untersuchungen, die vom März bis zum Juni wähiten, nahm die Empfindlichkeit mit unbedeutenden Schwankungen langsam ab. Das ist mit der Zunahme der Temperatur zu erklären. Die elektromotorische Kraft eines Clark-Elementes beträgt nach Kohlrausch [1])

$1{,}433\ [1-0{,}00082\ (\vartheta-15) - 0{,}000007\ (\vartheta-15)^2]$,

wobei ϑ die Temperatur bedeutet. Zur Abkürzung will ich dafür schreiben: $k\ (1-\beta\vartheta)$. Der Skalenausschlag ist nach der bereits citierten Formel:

$\alpha = c\ Q\ (N - \frac{Q}{2})$, wenn Q das Potential des zweiten

[1]) Kohlrausch: Leitf. der prakt. Physik. 8. Aufl. p. 285.

Quadrantenpaares darstellt. Daraus folgt unter Vernachlässigung höherer Potenzen von Q

$\alpha = c\ Q\ N$ oder $Q = \frac{\alpha}{cN}$. Handelt es sich um die Empfindlichkeit, so ist $\alpha = E$ und also

$Q = \frac{E}{cN}$ oder $c = \frac{E}{Q\,N}$. Da Q die Spannung von einem, N die Spannung von 100 Latimer-Clark-Elementen darstellt, so ist mit Berücksichtigung der Temperatur zu setzen:

$$c = \frac{E}{100\ k^2\ (1-\beta\ \vartheta)^2}$$ oder um E auszudrücken:

$$E = 100\ k^2\ c\ (1-2\ \beta\ \vartheta)$$

Die niedrigste aller Temperaturen, bei denen ich beobachtet habe, betrug 10,0 ° am 25. März und die höchste 23,6 ° am 23. Juni. Dieser Temperaturdifferenz entspricht die Grösse $\beta\ \vartheta = 0{,}0112$. Also folgt daraus, dass sich E entsprechend ändern musste um 0,022. $100ck^2$ d. h. um 2,2 %. Thatsächlich war

am 25. März E = 59,0
am 23. Juni E = 57,8

Der Unterschied beträgt also 2,1 %.

Bisweilen traten Änderungen von E auf, die nicht durch Temperaturschwankungen erklärt werden konnten. Es fiel mir auf, dass solche Unregelmässigkeiten stets bemerkt wurden, wenn ein Gewitter vorangegangen war. Sie konnten indessen leicht dadurch beseitigt werden, dass die Schwefelsäure im Elektrometer mit einem Löffel umgerührt wurde.

Ist statt des einen Clark-Elementes der aktive Draht an das 2. Quadrantenpaar angeschlossen, so gilt für den Ausschlag α die implicite Gleichung:

$f = \frac{\alpha\ C\ (1+\varepsilon)}{V_0\ Nc\ t}$. Sowohl V_0 als N stellt die

Spannung von 100 Clark-Elementen dar. Also mit Berücksichtigung der Temperatur ist zu setzen:

$$f = \frac{\alpha\ C\ (1+\varepsilon)}{k^2\ (1-\beta\vartheta)^2.\ 100^2.\ c\,t}.$$ Setzt man den für c gefundenen Wert hier ein, so heben sich alle Grössen, die die Temperatur enthalten, fort und es bleibt:

$$f = \frac{\alpha\ C\ (1+\varepsilon)}{100\ E\ t}.$$

E ist nur geringen Aenderungen von höchstens 2,2 % unterworfen. Bezeichnet man mit E_m den Mittelwert der Empfindlichkeiten E, so kann man setzen $E = E_m\ (1 + x)$, wobei x eine kleine Grösse ist. Oder

$$f = \frac{\alpha\ (1 - x)\ (1 + \varepsilon)\ C}{100\ E_m t}.$$ Da ich $f = f_1 + x$ gesetzt habe, so muss für $x = 0$, d. h. wenn kein aktivierter Körper vorhanden ist,

$$f_1 = \frac{\alpha'\ (1 - x)\ (1 + \varepsilon)\ C}{100\ E_m t}$$ sein, dann kann man setzen: $\alpha = \alpha'' - \alpha'$ und erhält, wenn sonst alle äussern Umstände dieselben sind:

$$x = \frac{\alpha''\ (1 - x)\ (1 + \varepsilon)\ C}{100\ E_m t}.$$

α und α' wurden beobachtet. α' wurde in der Weise gefunden, dass ein niemals absichtlich aktivierter Draht von 12,0 cm Länge und 0,296 mm Durchmesser, der in einem Paraffinstopfen fest sass, ganz wie ein aktivierter Draht an das zweite Quadrantenpaar angeschlossen wurde. Ob der Draht nicht doch wegen Anwesenheit von Radium im Gebäude etwas aktiv war, lässt sich nicht entscheiden. Für α' ergab sich im Mittel ein Ausschlag von etwa 5 mm, genauer 4,6 mm. α' war gewöhnlich nur geringen Schwankungen unterworfen. Bisweilen indessen traten grössere Abweichungen auf, die wahrscheinlich ihre Erklärung darin

finden, dass die Luft, zumal wenn sich Radium in ihrer Nähe befindet, an und für sich aktive Eigenschaften annehmen kann.[1]) Andererseits liess sich auch vermuten, dass die Röhre tertiär aktiviert war. Sie wurde deshalb mehrfach mit Sand und Salzsäure gescheuert, um dadurch alle etwa auf ihr vorhandene Aktivität zu vernichten. Auf ähnliche Weise wurden die aktivierten Drähte, die von neuem untersucht werden sollten, von der Aktivität befreit. Sie wurden 8 bis 10 Minuten in zur Hälfte mit destilliertem Wasser verdünnte Salzsäure gesteckt, dann zunächst in gewöhnlichem Wasser abgespült und schliesslich in destilliertem Wasser gewaschen. Von den anhaftenden Wassertropfen wurden die Drähte durch Fliesspapier befreit. Jeder so behandelte Draht wurde dann in die Messingröhre gebracht und auf seine Elektricitätszerstreuung geprüft. Auf diese Weise überzeugte ich mich jedesmal, dass der Draht inaktiv geworden war. Wie gesagt, stimmten die Werte von α' meist bis auf kleine Abweichungen überein. Der Gedanke lag nahe, eine der Abweichung entsprechende Korrektion bei dem später abgelesenen Wert des aktivierten Drahtes vorzunehmen. Dies erwies sich nicht als vorteilhaft. Wenn, was mehrfach geschah, derselbe Draht unter genau gleichen Bedingungen zweimal aktiviert wurde, so trat zwischen den Parallelwerten der geringste Unterschied auf, wenn alle derartigen Korrektionen unterblieben. Demgemäss wurde dann auch in der Berechnung verfahren. — Wenn man annimmt, dass noch eine Spur von Emanation auf dem Draht geblieben ist, so wird nach mehr als 21stündiger Aktivierung nichts mehr von der anfangs konstatierten

[1]) Elster und Geitel Phys. Zeitschr. 2. p. 560. 1900.

Spur zu merken sein, da man vielleicht einigen Grund hat, den Vorgang der Aktivierung sich so zu denken, dass die Zunahme der Aktivierung um so geringer ist, je stärker der Draht aktiviert ist.

Beobachtet wurde der Ausschlag der Elektrometernadel bei ein und demselben aktivierten Drahte mehrfach. In der Regel konnte die 1. Beobachtung bereits zwei Minuten, nachdem die Aktivierung aufgehört hatte, begonnen werden. Jede Beobachtungsserie dauerte, wie schon erwähnt, 2 Minuten. In Zwischenräumen von 5 bis 10 Minuten wurden diese Beobachtungsserien einige Mal wiederholt. Dann wurden sie abgebrochen. Die Verwertung der beobachteten Daten zur Ausrechnung des Resultats geschah in folgender Weise: sowohl von den nach einer Minute als auch von den nach zwei Minuten erhaltenen Werten einiger (meist 2 oder 3) kurz hintereinander beobachteten Serien wurde der Mittelwert genommen. Die Werte schwankten gewöhnlich nur um geringe Beträge. Beobachtungen mit grösseren Abweichungen wurden unberücksichtigt gelassen. Es fiel mir auf, dass besonders in der letzten Zeit meiner Untersuchungen die in der ersten Serie beobachteten Werte viel zu gross waren. Dass diese Erscheinung mit der höheren Temperatur zusammenhängen sollte, scheint mir nicht ganz ausgeschlossen. Zwei Zimmer vom Aktivierungsraum entfernt befanden sich grössere Mengen von Radium. Man könnte auf die Vermutung kommen, dass dies Radium einen Teil zur Aktivierung beigetragen hat. Nach Versuchen des Herrn Professor Dorn [1]) fällt die Sekundärwirkung der durch Radium aktivierten Objekte äusserst schnell ab. Es ist ferner

[1]) Dorn Abh. der naturh. Ges. Halle 1900.

nicht unwahrscheinlich, dass die höhere Temperatur eine stärkere Emanation des Radiums verursacht hat oder wenigstens eine lebhaftere Bewegung der Emanation, die dann eine höhere Aktivierung des Drahtes etc. zur Folge hätte.

Nachdem auf die angegebene Weise die Mittelwerte aus den Beobachtungen aufgestellt waren, wurde bestimmt, um wie viel Prozent des Wertes nach 1 Minute die Hälfte des Wertes nach 2 Minuten zu klein war. Berechnet wurde also der Wert $\frac{\alpha_1 - \frac{\alpha_2}{2}}{\alpha_1}$. Aus 185 solchen Berechnungen ergab sich als Mittelwert $\frac{\alpha_1 - \frac{\alpha_2}{2}}{\alpha_1} = 0{,}045$. Der grösste Wert war 0,08, der kleinste Wert war 0,01.

Im Mittel ergiebt sich also

$\frac{\alpha_2}{2} = 0{,}955\ \alpha_1$ oder nahe:

$\alpha_1 = \frac{\alpha_2}{2}\,[1 + 0{,}045]$. Vorher war gefunden

$\alpha_1 = \frac{\alpha_2}{2}\,(1 + \varepsilon)$. Also folgt $1 + \varepsilon = 1{,}045$.

Soll daher f thatsächlich berechnet werden, so ist der früher für f abgeleiteten Formel zufolge:

$f = \frac{\alpha_1\ C\ .\ 1{,}045}{t_1\ Nc\ V_0}$ oder $f = \frac{\alpha_2\ C\ .\ 1{,}090}{t_2\ Nc\ V_0}$ zu setzen, wobei $t_1 = 1$ Minute, $t_2 = 2$ Minuten und α_1 und α_2 die zugehörigen abgelesenen Skalenteile bedeuten. Nach der Formel $\alpha_1 = \frac{\alpha_2}{2} \cdot [1+0{,}045]$ wurden aus allen Werten von α_2 die zugehörigen Werte von α_1 berechnet. Aus den so durch Rechnung gefundenen

und den sich durch direkte Beobachtung ergebenden Werten von α_1 wurde das Mittel genommen, und dann $\alpha' = 4{,}6$ abgezogen.

Die folgenden Tabellen geben für jeden der vier Drähte und für die benutzten Spannungen die zugehörigen Werte des Ausschlages der Elektrometernadel in Skalenteilen an. Als mittlere Empfindlichkeit, auf die alle Rechnungen bezogen wurden, ist $E_m = 58{,}4$ angesetzt.

I. Aktivierung in Rohr A.

Draht	300	200	100	50	1	0	Volt
I	64,0	66,8	65,4	63,3	15,3	6,4	
II	74,3	66,0	64,1	59,4	21,0	8,5	
III	72,6	69,5	65,1	63,8	24,4	11,8	
IV	65,8	60,6	61,4	64,8	26,4	12,8	

II. Aktivierung in Rohr B.

Draht	300	200	50	4	0	Volt
I	68,5	70,5	59,3	19,4	5,6	
II	71,9	71,5	63,5	26,0	6,5	
III	72,2	70,8	58,9	30,4	8,8	
IV	73,4	69,5	55,5	33,8	8,2	

Die nach diesen Tabellen gezeichneten Kurven I und II, bei denen als Abscissen die Flächen der Drähte, als Ordinaten die von der Aktivierungsintensität abhängigen Werte der Skala aufgetragen sind, lassen deutlich erkennen, dass bei höherer Spannung der Einfluss der Spannung auf die Aktivierungsintensität nur noch ein geringer ist. Die Kurven für 50 Volt liegen dem Maximalwert schon ziemlich nahe. Bei dieser und noch höheren Spannungen ist auch kein einheitliches

Gesetz zu erkennen, nach dem die Aktivierungsintensität von der Fläche abhängt. Vielmehr scheint bei höheren Spannungen die Aktivität von der Fläche merklich unabhängig zu sein. Die Abhängigkeit tritt nur deutlich bei den geringen Spannungen hervor. Hier steht es ausser Zweifel, dass die Intensität mit der Fläche zunimmt. Wenn man die Kurven I mit den Kurven II vergleicht, so erkennt man deutlich, dass bei der weiteren Röhre im allgemeinen höhere Spannungen nötig sind, als bei der engen Röhre, wenn man in beiden Fällen den gleichen Wert der Aktivierungsintensität erreichen will. Eine Ausnahme hiervon bilden die höheren Spannungen, bei denen für beide Röhren die Intensitäten nahezu gleich zu sein scheinen.

Bei den Kurven III und IV sind die Spannungen als Abscissen, die Skalenwerte als Ordinaten aufgetragen. Die Kurven selber geben an, wie sich bei einem und demselben Drahte mit veränderter Spannung seine inducierte Aktivität ändert. Diese Kurven fallen für die verschiedenen Drähte sehr nahe zusammen, daher schien es mir vorteilhaft, das Koordinatensystem für jede einzelne Kurve auf eine aus der Zeichnung leicht ersichtliche Art etwas zu verschieben. Die Koordinatenanfänge sind durch gerade Linien verbunden. Aus den Zeichnungen wird deutlich, dass mit wachsender Spannung die Intensität der Aktivierung sich einer Asymptote zu nähern scheint. Die Kurven bestehen aus 2 nahezu geraden Linien, die durch eine kreisbogenähnliche Kurve mit einander verbunden sind. Vergleicht man die Kurven III und IV, so tritt deutlich hervor, dass bei den Kurven III der Krümmungsradius dieses Stückes beträchtlich kleiner ist als derjenige der Kurven IV.

Um zu einer Erklärung des ganzen Aktivierungsvorganges zu gelangen, muss hier noch auf einen wichtigen Versuch eingegangen werden.

Es wurde beabsichtigt, einen Draht ganz in der gewöhnlichen Weise zu aktivieren und dann aber nur seine eine Hälfte bei der Intensitätsmessung wirken zu lassen, um einen Aufschluss über die Beziehungen zwischen der gemessenen Intensität und der auf dem Draht befindlichen Menge der Emanation zu erhalten. Zu diesem Zwecke wurde eine Messinghülse hergestellt, die sehr genau auf Draht IV passte und den Draht 54,0 mm weit bedeckte. Die ganze Länge des Drahtes betrug 109,5 mm. Also konnte fast die Hälfte, genauer der 0,493. Teil, der Fläche durch die Hülse bedeckt werden. Der 21 Stunden 44 Minuten lang mit 100 Volt in Röhre A aktivierte Draht zeigte gleich nach der Beendigung der Aktivierung die Intensität 68,8. Dann wurde die Hülse auf den Draht geschoben, und nun ergab sich als Intensität 39,1. Beide Werte wurden aus 2 Messungen bestimmt. Die Messungen mit Hülse erfolgten 20 Minuten später als die Messungen ohne Hülse. Eine Intensitätsänderung ist während dieser Zeit kaum merklich. — Reduciert man die Werte auf den Fall, dass die Hülse genau die Hälfte des Drahtes bedeckt, so verhält sich die ohne Hülse gemessene Intensität zu der mit Hülse gemessenen wie 1 : 0,560. Nun ist zu beachten, dass bei dem Heraufschieben der scharf anschliessenden Hülse auf den Draht die Emanation wahrscheinlich etwas mitgenommen ist und zum Teil vor der Hülse hergeschoben wurde. Dass dies thatsächlich der Fall gewesen ist, zeigte ein weiterer Versuch, bei dem die Intensität ohne Hülse noch einmal gemessen wurde. Dies geschah nach einem Verlauf von weiteren 20

Minuten. Die Intensität hatte jetzt nur noch den Wert 63,5. Nimmt man mit Rutherford [1]) an, dass der Abfall der inducierten Intensität vor sich gehe nach der Gleichung: $I = I_0 \cdot e^{-\lambda t}$ (wo I_0 die Anfangsintensität, t die von Schluss der Aktivierung ab gezählte Zeit und λ eine Konstante bedeutet) und dass für $t = 12$ Stunden $I = {}^1/_2 I_0$ ist, dann ergiebt sich $\lambda = 0{,}058$. Da die beiden Messungen ohne Hülse 40 Minuten, also 0,67 Stunden von einander entfernt sind, so musste bei der 2. Messung sein $I = 68{,}8\ e^{-0{,}039} = 66{,}0$. Es ist also wahrscheinlich, dass durch die Hülse etwas Emanation mit fortgeschoben wurde und später mit der Hülse gänzlich entfernt wurde. Ein 2. Grund dafür, dass die mit Hülse gemessene Intensität grösser ist als die nur von der freien Hälfte des Drahtes herrührende, ist darin zu erblicken, dass die Wirkung der sekundären Aktivität die Messingröhre durchdringt, und also bis zu einem gewissen Grade noch die unter der Hülse befindliche Emanation mitwirkt. Bei diesen Erwägungen ist es als gewiss anzusehen, dass die Intensität der auf dem Draht befindlichen Menge der Emanation proportional ist.

Um die Resultate meiner Untersuchungen unter einen höheren Gesichtspunkt zu bringen, möge es mir gestattet sein, mich einiger Hypothesen zu bedienen, die sich zwar möglichst nahe an früher aufgestellte Hypothesen anschliessen, aber deshalb durchaus keinen Anspruch auf allgemeine Giltigkeit haben sollen.

Zwecks einfacher Ausdrucksweise habe ich mich bisher immer des von Rutherford stammenden Aus-

[1]) Rutherford Phil. Mag. (5) 49. p. 161. 1900.

druckes: Emanation bedient. Mag die Emanation an feste Körperchen oder an ein Gas [1]) gebunden sein, so scheint sie mir der Hauptsache nach doch aus gewissen Energiekomplexen zu bestehen. Sobald die Energie abgegeben oder umgesetzt ist, ist die Emanation von der Stelle, an der sie sich vorher befand, verschwunden. Sie kann z. B. zur Jonisierung der Luft verbraucht werden. In einem abgeschlossenen Raum wird die Anzahl der Teilchen, die ihre Energie auf diese Weise abgeben, und die somit unwirksam werden, um so grösser sein, je dichter die Emanation ist. Aus dem Thoroxyd emanieren neue Partikelchen. Die Dichte der Emanation in dem Raum wird sich schliesslich so einstellen, dass ein stationärer Zustand eintritt, d. h. dass ebenso viel Teilchen verschwinden, als neue hinzukommen. Es liegt die Annahme nahe, dass beide zur Verwendung gelangten Röhren zunächst bis zu einer gewissen Sättigungsdichte mit Emanation gefüllt werden. Meine Resultate scheinen dieser Annahme indessen zu widersprechen. Man betrachte die Kurven für 0 Volt aus den Kurvenscharen I und II. Würde die Dichte der Emanation bis zu einer gewissen Sättigung wachsen, so müsste in beiden Röhren dieselbe Anzahl von Emanationsteilchen pro Volumeneinheit vorhanden sein, und folglich, wenn die Intensität der inducierten Aktivität von der Dichte abhängt, müsste der gleiche Draht in beiden Röhren die gleiche Intensität erreichen. Sollte die Intensität von der Gesamtzahl der vorhandenen Teilchen abhängen, so müsste die Intensität des in der weiteren Röhre aktivirten Drahtes auf den höheren Wert anwachsen. Es ist aber gerade das umgekehrte Verhältnis eingetreten. Also scheint man zu der anderen

[1]) P. Curie und A. Debierne Compt. Rend. 132. 768. 1901.

Annahme berechtigt, dass, da in beiden Röhren dieselbe Menge Thoroxyd zur Verwendung kam, die Zahl der pro Zeiteinheit emanirten Teilchen beide Mal dieselbe ist. Ob auch die Zahl der verschwindenden Teilchen beide Mal dieselbe bleibt, ist fraglich. Das Verschwinden der Emanation kann auf verschiedene Arten geschehen. 1. setzt sich Emanation an den zu aktivierenden Gegenstand. 2. kann Emanation aus den Röhren diffundieren. 3. verschwindet Emanation in der von der Röhre eingeschlossenen Luft. Durch Diffusion werden wahrscheinlich nur wenige Teilchen verschwinden. Dass ein Verschwinden von Emanation in der Luft stattfinden kann, scheinen schon Versuche von Curie und Dorn anzudeuten. Ferner ist zu erwähnen, dass bei Verwendung gar keiner Spannung auch an die Innenwand der Röhre Emanation gehen wird, sodass auch hierin noch ein Grund dafür gefunden wäre, dass die Dichte der Emanation in der weiten Röhre geringer ist als in der engen.

Man kann, wenn kein Potential angelegt ist, mit ziemlicher Gewissheit annehmen, dass die an den Draht sich ansetzende Teilchenzahl proportional der Dichte der Emanation ist. Je mehr Teilchen pro Zeiteinheit dadurch aus dem freien Raum verschwinden, dass sie an den Draht gehen, um so mehr wird die Dichte der Emanation in der Röhre abnehmen, da sich stets ein stationärer Zustand herzustellen sucht. Pro Sekunde mögen k Teilchen durch das Gitter treten. Ferner mögen aus dem Raum in derselben Zeit k_1 Teilchen an den Draht gelangen. Dann kommen $k_2 = k - k_1$ Teilchen pro Sekunde zu den Teilchen des Raumes hinzu. Bei einem stationären Zustande wird sich die Dichte also so einstellen, dass ebenfalls k_2 Teilchen pro Sekunde ihre Energie verlieren. k_2 ist proportional der

Dichte. Also ist zu setzen $k_2 = c_2 D$, wenn man die Dichte mit D bezeichnet. Die Zahl der aus dem Raum an den Draht gelangenden Teilchen ist aber auch proportional der Dichte. Also $k_1 = c_1 D$. Daraus folgt $k = k_1 + k_2 = D (c_1 + c_2)$ und endlich:

$$k_1 = \frac{c_1 k}{c_1 + c_2}; \quad k_2 = \frac{c_2 k}{c_1 + c_2}$$

Je grösser die Flächen der Drähte sind, um so günstiger sind natürlich die Bedingungen für das Absetzen der Emanation, um so grösser würde also c_1 sein.

Im Falle einer Spannung werden die in die Röhre hinausgetretenen Teilchen rasch an den Draht gebracht. Der Proportionalitätsfaktor, der mit der Dichte der Emanation in der Röhre multipliziert werden muss, um die auf den Draht sich ansetzende Menge zu erhalten (das ist die vorher c_1 genannte Grösse), wird um so grösser sein, je grösser die Spannung ist. Bei Änderung der Spannung bleibt c_2 wahrscheinlich nahe konstant. Ist c_1 gross gegen c_2, so wird k_2 und die Dichte im Raum klein, während k_1, d. i. die auf dem Draht sich ansetzende Menge der Emanation, immer grösser wird. Im Grenzfalle ist $k_2 = 0$ und $k_1 = k$, d. h. alle durch das Netz gelangenden Emanationsteilchen gehen an den Draht. Je grösser der Raum der Röhre ist, um so grösser ist der Faktor c_2, d. h. um so geringer D und k_1. Der Unterschied kann nur bei geringen Spannungen auftreten; denn ist c_1 gross gegen c_2, so verschwindet er. Die Grösse c_1 kann man sich aus 2 Teilen bestehend denken. $c_1 = c_1' + c_1''$, wo dann c_1' nur von der Spannung abhängt, während c_1'' von der Fläche der Drähte abhängig ist. c_1'' wird keine grosse Zahl sein. Darum wird der Unterschied der Intensität, der sich auf die verschiedene Grösse der Flächen bezieht, bei grösseren Spannungen verschwinden. — Um die

Thatsache zu erklären, dass die Objekte, die aktiviert werden, zunächst sehr schnell aktiv werden, dann mit der Zeit aber immer langsamer, sprachen Curie und Debierne [1]) den Gedanken aus, dass dieser Vorgang mit einer Sättigungserscheinung zu vergleichen sei. Nach dieser Theorie würde also die vorher mit c_1 bezeichnete Grösse mit der Zeit abnehmen. Das hätte eine erhöhte Dichte der Emanation in der Röhre zur Folge. Nach genügend langer Zeit müsste dann die Dichte selbst bei hoher Spannung dieselbe sein, als wenn gar keine elektromotorische Kraft mitwirkte, und es wäre nun nicht einzusehen, warum bei hoher Spannung nur der Draht, dagegen die übrigen Teile der Röhre etc. so gut wie gar nict aktiviert werden. Meiner Ansicht nach gelangen in jeder Sekunde gleichviel Emanationsteilchen auf den Draht. Man weiss, dass nach Aufhören der Aktivierung die Emanation ihre Energie zur Jonisierung der Luft verbraucht und damit gänzlich verschwindet. Es ist kein Grund vorhanden, anzunehmen, dass dieser Vorgang nicht auch schon während der Aktivierung stattfindet. Je mehr Teilchen sich auf dem Draht befinden, um so mehr werden ihre Energie abgeben und verschwinden. Hieraus erklärt sich vollkommen, dass die Zunahme der Intensität mit der Zeit eine geringere wird.

Bei dem Versuch, auf theoretischem Wege eine Gleichung für die gefundenen Kurven III und IV aufzustellen, stiess ich auf mancherlei Schwierigkeiten, da die Abhängigkeit der Grössen c_1, c_2 und k von der Spannung, dem Volumen der Röhre und der Fläche der Drähte sehr verschieden sein kann.

Eine mehr oder weniger auf empirischem Wege gefundene Formel stellt indessen die Kurven sehr gut

[1]) Curie und Debierne Compt. rend. 132 p. 548. 1901.

dar. Es mögen folgende Bezeichnungen gelten: y gemessene Intensität, y_0 Intensität bei der Ladespannung 0 Volt, x Ladespannung, A aus den Kurven entnommener Maximalwert der Intensität, schliesslich a und c Konstante. Dann setze ich

$$y = A - \frac{(A - y_0)\, a^c}{(a+x)^c}.$$

Für $x = 0$ ist $y = y_0$; für $x = \infty$ ist $y = A$. Die Werte y_0 und A werden direkt aus den Kurven entnommen, während a und c zu bestimmen sind. Diese Bestimmung ist möglich aus den Koordinaten zweier Punkte.

Für Draht I und enges Rohr ergab sich:

$$a = 7{,}3 \text{ und } c = 1{,}37.$$

Für denselben Draht, aber im weiten Rohr aktiviert, ergab sich:

$$a = 80 \text{ und } c = 3{,}42.$$

Die entsprechende Rechnung für die weite Röhre und Draht III ergab

$$a = 37 \text{ und } c = 1{,}82.$$

Die Volumina der Röhren verhalten sich nahezu wie 1 : 4, die Flächen der beiden Drähte nahe wie 1 : 7. Wie diese Beziehungen in den Grössen c und a enthalten sind, ist nicht recht ersichtlich.

Die unter Benutzung dieser Werte für die Konstanten nach jener Gleichung gezeichneten Kurven lehnen sich sehr nahe an die durch das Experiment gefundenen an.

In den Kurven VII, VIII und IX ist immer eine durch das Experiment gefundene Kurve mit der ihr entsprechenden durch die Rechnung gefundenen Kurve zusammengestellt.

Die theoretische Kurve ist mit etwas verschobenem Koordinatenanfang gestrichelt unter die durch Beobachtungen gefundene Kurve gezeichnet.

— — — — — — — — — — — —

Ganz ähnlich wie bei der Aktivierung der Drähte gestaltete sich der Vorgang bei der Aktivierung der Metallplatten. Die Messung der Intensität geschah auch nach demselben Prinzip.

Ich benutzte zwei möglichst identische kreisförmige Messingplatten von der Dicke 1 mm und dem Durchmesser 30 mm. Die Platten wurden abwechselnd verwendet und jedesmal nach beendeter Messung durch Salzsäure wieder inaktiv gemacht. Die Aktivierung wurde in einem eigens hierzu hergestellten Apparat vorgenommen, wie ihn Figur 4 veranschaulicht. Auf einen Messingdeckel ist ein 3,4 cm hohes und 3 cm Durchmesser messendes Messingrohr aufgelötet. In dem Rohr ist eine Messingschale mit 0,95 cm hohem Rande nahezu luftdicht bewegbar mit Hilfe eines starken Messingdrahtes, der mit dem Boden der Schale verbunden und durch die Mitte des Deckels geführt ist. Mit Hilfe einer Klemmschraube kann der Draht hier fixiert werden. Auf den Deckel ist ein weiteres Messingrohr aufgesetzt, das eine Höhe von 7 cm und einen Durchmesser von 4,2 cm aufweist. Von oben ist dieses Rohr durch Paraffin verschliessbar, das in einen Ring aus Messingblech gefasst ist. Durch den Paraffinstopfen ist ein starker Messingdraht geführt. Innerhalb des Rohres kann auf diesen Draht die zu aktivierende Platte aufgesteckt werden. Das ThO_2 kommt in die nach oben und unten bewegliche Schale, die bei verschiedenen Höhen des ThO_2 so reguliert wird, dass der Abstand

der Oberfläche des ThO_2 von der Platte immer derselbe blieb, nämlich 12—13 mm. Dasselbe hätte ja zwar erreicht werden können, wenn die zu aktivierende Platte verschoben worden wäre. Hierin liegt aber ein Nachteil deswegen, weil dann die Lage der Platte zu den Metallteilen des Apparates eine andere geworden wäre. Das Thoroxyd war auch diesmal mit einem sehr feinen Messingdrahtnetz überdeckt, und zwar befand sich das Netz unmittelbar über der Oeffnung der innern engen Röhre des Apparates. Bei der Aktivierung wurden auch diesmal die das Thoroxyd umgebenden Metallteile zur Anode, die Platte zur Kathode gemacht. Der ganze Apparat wurde seiner Längsrichtung nach vertikal in ein Stativ eingeklemmt. Eine Zeit lang wurde gleichzeitig mit der Aktivierung der Drähte die Aktivierung der Platten vorgenommen. Kam dieselbe Spannung zur Verwendung, so wurden beide Apparate nebeneinander geschaltet. Nachdem die Platten aktiviert waren, wurden sie ganz genau so behandelt wie die Drähte. Bezüglich ihrer Elektricitätszerstreuung wurden sie in denselben Röhren geprüft wie jene. Eine andere Vorrichtung, bei der die aktivierte Platte einer zweiten positiv geladenen und nicht aktivierten gegenübergestellt wurde, bewährte sich nicht gut. Ähnlich wie bei den Drähten gaben die ersten Beobachtungsserien zu grosse Ausschläge, die bisweilen die nach kurzer Zeit eintretenden konstanten Werte um 80 bis 90 Prozent übertrafen. Die Verwertung der abgelesenen Daten zur Berechnung geschah in derselben Weise wie bei den Drähten. Es mag hier noch bemerkt werden, dass α' für die Platten denselben Wert hatten wie für die Drähte.

Die Dicke der ThO_2-Schicht wurde durch Wägen bestimmt. Die ganze Schale, deren Höhe 9,5 mm be-

trug, wurde durch 6,22 g ThO_2 ausgefüllt. Ich benutzte 3 verschiedene Schichtdicken.

Das ThO_2 der

1. Schicht wog 0,57 g; dem entspricht eine Höhe von 0,87 mm
2. „ „ 1,14 g; „ „ „ „ „ 1,74 „
3. „ „ 2,28 g; „ „ „ „ „ 3,48 „

Die Schichtdicken verhalten sich also wie die Zahlen 1 : 2 : 4. Folgende Tabelle ergiebt die Abhängigkeit der Intensität von der Schichtdicke und der Spannung an:

Schicht	300	200	100	50	0 Volt
1	5,6	5,2	6,3	6,0	2,1
2	14,1	13,2	10,4	9,8	3,9
3	25,4	23,4	24,0	15,2	6,4

Nach dieser Tabelle sind die Kurven V und VI gezeichnet. Die Kurven V geben für jede Schicht die Abhängigkeit der Intensität von der Spannung an. Die Kurven VI zeigen für gleichbleibende Spannung die Abhängigkeit der Intensität von der Dicke der Schicht.

Nach den Kurven VI und nach der Tabelle zu schliessen, wächst die Intensität bei den Spannungen 0 und 50 Volt nicht ganz proportional der Dicke der Schicht. Wohl scheint dies indessen (mit kleinen Abweichungen) bei den übrigen Spannungen der Fall zu sein.

Wie diese Erscheinungen richtig zu deuten sind, ist wohl schwer zu sagen. Es wird gewagt sein, wenn man annimmt, dass bei gar keiner oder nur geringer Spannung die von dem Thoroxyd ausgehende Strahlung einen bedeutenden Teil der Aktivierung besorgt. Bei dicker Schicht wird, wie Rutherford gefunden hat[1]), die

[1]) Rutherford: Phil. Mag. (5) 49. p. 1. 1900.

Strahlung leicht absorbiert; dann könnte also die Aktivierung durch Strahlung nicht proportional der Schichtdicke wachsen. Man müsste ferner annehmen, dass die Strahlung nicht durch die Elektricität beeinflusst wird und dass somit bei höheren Spannungen die Aktivierung fasst ausschliesslich durch die Emanation erfolgt, die nach Rutherford [1]) nur sehr wenig absorbiert wird. Bei diesen, allerdings zweifelhaften Annahmen wäre erklärt, weshalb bei höheren Spannungen die Intensität der Aktivierung mit der Schichtdicke wächst. Will man indessen die gewagte Hypothese vermeiden, so muss man sich damit begnügen, dass ähnlich wie früher schon bei 100 Volt das Maximum der Intensität nahezu erreicht ist und dass in roher Annäherung die Intensität der Schichtdicke proportional wächst, und somit also folgt, dass die Emanation im wesentlichen ungestört durch das Thoroxyd hindurchgelassen wird.

[1]) Rutherford: Phil. Mag. (5) 49. p. 1. 1900.

Vergleichende Messungen des elektrischen Potentials mittels der Flamme und eines aus radioaktiver Substanz bestehenden Kollektors.

Bei der Fähigkeit der radioaktiven Substanzen, die Elektricität dadurch zu zerstreuen, dass sie die Luft in ihrer Umgebung zum Leiter machen, lag es nahe, auch Messungen über atmosphärische Elektricität mit Hilfe eines aus radioaktiver Substanz bestehenden Kollektors vorzunehmen. Herr Professor Dr. Dorn hat im Freien einige vergleichende Versuche zwischen den Angaben eines Flammenkollektors und einem aus radioaktivem Salz bestehenden Kollektor gemacht und gefunden, dass mit Hilfe des Salzes ein niedrigerer Wert des Potentials angegeben wird als mit Hilfe der Flamme. Das analoge Resultat konnte leicht im Laboratorium nachgewiesen werden, indem zwischen einer Blechplatte und einem für Experimente mit Hertzschen Wellen bestimmten Drahtgitter ein starkes elektrisches Feld hergestellt wurde, und mit Hilfe der Flamme und des Salzes das Potential an einer beliebigen Stelle zwischen Blech und Gitter gemessen wurde. Der thatsächliche Wert des Potentials war für jede Stelle leicht zu berechnen und so war es möglich, festzustellen, um welchen Betrag die mit Hilfe von Flamme und Salz erzielten Werte des Potentials korrigiert werden mussten, um den thatsächlichen Wert zu erhalten.

Bei vertikalen Niveauflächen war keine Abweichung vom theoretischen Wert zu konstatieren. Bei horizontal verlaufenden Niveauflächen gaben sowohl Flamme wie Salz einen zu hohen Wert an. Das unten befindliche Gitter war dabei positiv geladen.

Die Herren Elster und Geitel teilten Herrn Prof. Dorn auf eine diesbezügliche Anfrage mit, dass sie und Herr Exner auch bereits luftelektrische Messungen mit Hilfe von radioaktivem Salz vorgenommen hätten. Herr Exner hat mit Polonium gearbeitet. Da aber noch keine genaueren vergleichenden Messungen vorlagen, so unternahm ich es auf Anregung von Herrn Prof. Dorn, zu untersuchen, wie sich mit Hilfe von Flamme und Salz angestellte Messungen unter verschiedenen Bedingungen verhielten.

Herr v. Wesendonk hat gezeigt,[1]) dass bei Benutzung einer Flamme die Angabe des Elektrometers einem Punkte entspricht, der einige Centimeter oberhalb der Flammenspitze liegt. Die Versuchsanordnung des Herrn v. Wesendonk gestattet indessen nicht, quantitative Ergebnisse zu erhalten, was bei der von mir benutzten Versuchsanordnung vorzüglich gelang.

Das elektrische Feld wurde hergestellt zwischen 2 quadratischen Drahtnetzflächen, deren jede eine Grösse von 4 m^2 hatte. Es kam dabei käufliches verzinktes Drahtgeflecht mit einer Maschenweite von 3 cm zur Verwendung. Eine Stauung von Flammengasen oder von Jonen war somit ausgeschlossen. Das Drahtnetz wurde auf Holzrahme genagelt. Es wurde besonders darauf geachtet, dass das Drahtnetz nicht wellig blieb. Dies konnte leicht dadurch erreicht werden, dass die aus stärkerem Draht bestehenden beiderseitigen Be-

[1]) v. Wesendonk. Naturw. Rundschau 15. S. 233. 1900.

grenzungen des Gitters entfernt wurden. Das käufliche Geflecht von der erforderlichen Weite war mir nur in Stücken von einem Meter Breite zugänglich. Ein solcher Streifen wurde diagonal auf jeden Holzrahmen aufgenagelt, und die noch freibleibenden Ecken wurden ebenfalls mit Drahtgeflecht ausgefüllt, das hier mit dem diagonal gelegten Stück durch Eisendraht verbunden wurde. Auf diese Weise gelang es mir, ganz glatte Flächen herzustellen.

Die Untersuchungen führte ich in einem etwa 150 m^3 grossen Zimmer im zweiten Stock des physikalischen Institutes aus. Als Träger für das radioaktive Salz benutzte ich einen Messingvollcylinder von 2,1 cm Länge und 1,7 cm Durchmesser, der oben eine 1 bis 2 mm tiefe und etwa 10 mm im Durchmesser haltende Vertiefung besass, in die das Salz gebracht wurde. An der Seite war der Cylinder mit einem senkrecht zu ihm verlaufenden Messingfortsatz aus dickem Draht versehen, der eine Klemmschraube trug. Von hier aus wurde die Verbindung mit dem Elektroskop hergestellt. Der Messingcylinder setzte sich nach unten in einen 3,4 cm langen Hohlcylinder fort, damit es möglich war, ihn auf einen Ebonitstab zu setzen. Der Ebonitstab wurde mit Hilfe eines Stativs festgeklemmt. Um bei vergleichenden Messungen mit der Flamme möglichst dieselben Bedingungen zu haben, wie bei dem Salz, wurde eine Spirituslampe von genau denselben Dimensionen wie der für das Salz bestimmte Cylinder hergestellt.

Als radioaktives Salz wurde Chlorbaryum französischen Ursprungs von der Aktivität 240 verwendet. Ein mit Polonium angestellter Versuch scheiterte an der geringen Aktivität und durchdringenden Kraft dieses Präparates. Das Salz musste auf dem Messingcylinder

befestigt werden. Einmal wurde eine koncentrierte Zuckerlösung, das andere Mal weisser Schellack als Klebemittel benutzt. Es wurden 2 Quantitäten des Salzes von etwa 0,1 g mit diesen verschiedenen Klebemitteln auf möglichst identische Cylinder geklebt, um zu sehen, ob sich Zucker oder Schellack mehr zu diesem Zwecke eignete.

Zu den Messungen benutzte ich ein Exner'sches Elektroskop, das mit Hilfe eines Fernrohres abgelesen wurde. Das Elektroskop und Fernrohr blieb während der ganzen Reihe von Untersuchungen unberührt stehen. In derselben Stellung wurde das Elektroskop auch graduiert. Dies geschah mit Hilfe einer Batterie von 100 Latimer-Clark-Elementen und einer Batterie von 50 kleinen Akkumulatoren. Es wurde stets der für die Innenseite der Aluminiumblättchen angegebene Skalenwert abgelesen. Die Graduirung geschah in der Weise, dass der negative Pol einer Batterie an Erde gelegt wurde, während der positive Pol unter Zwischenschaltung eines Graphitwiderstandes zum Elektroskop geführt wurde. Die übrigen Metallteile des Elektroskops wurden auch mit der Erdleitung verbunden. Das Elektroskop wurde von 10 zu 10 Elementen fortschreitend mit 10 bis 100 Clark-Elementen geladen und der Ausschlag der Blättchen gemessen. Dann wurden statt der Clark-Elemente 50 Akkumulatoren angeschlossen und ihre Spannung mit der (unter Berücksichtigung der Temperatur) berechneten Spannung der Clark-Elemente verglichen. Schliesslich wurden zusammen mit den Akkumulatoren noch successiv bis zu 60 Clark-Elementen angeschlossen, und dann rückwärts die ganze Reihe noch einmal wiederholt. Mehr als 60 Clark-Elemente durften nicht mit den Akkumulatoren zusammengeschaltet werden, weil dann die Blättchen bereits seitlich

anstiessen. — Nach den beobachteten Daten wurde eine Kurve gezeichnet, mit deren Hilfe für jeden Ausschlag der Blättchen die zugehörige Spannung bestimmt werden konnte.

Das eine der beiden Drahtgitter wurde stets an Erde gelegt, während das zweite mit dem einen Pol von 100 hinter einander geschalteten Akkumulatoren in Verbindung stand. Der andere Pol wurde ebenfalls geerdet. Die Spannung der Batterie wurde mit dem Elektroskop gemessen: natürlich nicht mit einem Male, sondern in zwei Teilen von je 50 Akkumulatoren. Jeder Teil ergab eine Spannung von 101 Volt, sodass das betreffende Gitter mit 202 Volt geladen wurde. Nachdem alle Versuche beendet waren, wurde diese Messung wiederholt und das Resultat als ganz unverändert gefunden. Ob das Elektroskop positiv oder negativ geladen wurde, blieb dabei völlig gleichgiltig.

Zunächst habe ich meine Beobachtungen bei vertikal gestellten Gittern ausgeführt, dann wurden die Gitter horizontal gelegt und auch in verschiedene Entfernung von einander gebracht.

Bei vertikal gestellten Gittern wurde das an Erde gelegte gegen das Fensterbrett gelehnt und von der Rückseite mit Eisenstativen festgehalten und möglichst genau lotrecht gerichtet. Das geladene Gitter wurde durch Paraffin vom Fussboden isoliert. Von der Rückseite wurde dem Gitter ein Tisch genähert, auf demselben standen, durch Paraffin wohl isoliert zwei weitere Eisenstative, die dieses Gitter festhielten. Mit geringer Mühe gelang es, die beiden Gitter genau parallel zu stellen und zwar in einem Abstand von 50 cm von einander. Zwischen beide Gitter wurde dann das nicht weiter isolierte Stativ gebracht, das den Ebonitstab und den Kollektor trug. Es wurde so eingerichtet, dass der

Kollektor möglichst in der durch die Mitten beider Gitterflächen gehenden Geraden gelegen war. Mit Hilfe eines Stromunterbrechers war es möglich, vom Platz am Fernrohr das Gitter zu laden.

Es wurde beobachtet mit Benutzung der Flamme, des mit Zucker angeklebten und des mit Schellak angeklebten aktiven Chlorbaryums.

Das Gitter war positiv geladen.

Folgende Tabelle giebt in der 1. Spalte den Abstand des Kollektors vom nicht geladenen Gitter, in der zweiten den theoretischen Wert des Potentials und in den folgenden die durch Beobachtung gefundenen Werte. Das Potential ist in Volt ausgedrückt.

Tabelle I.

cm	theor. Wert	Flamme	$BaCl_2$ (Zucker)	$BaCl_2$ (Schellack)
10	40	40	38	39
20	81	85	79	84
30	121	116	116	119
40	162	159	163	159
50	202	—	—	—

Wenn auch die Übereinstimmung der beobachteten Werte mit den theoretischen Werten keine vollkommene ist, so ist doch deutlich erkennbar, dass die Abweichung keine prinzipielle, sondern mehr oder weniger zufällige und eine den Mängeln der Beobachtung zuzuschreibende ist. Man muss demnach schliessen, dass bei vertikal verlaufenden Niveauflächen alle 4 Kollektoren denselben und gleichzeitig den Potentialwert ihres Ortes angeben. Ferner ist hiermit auch sofort die wichtige Frage, ob die Flamme ein merkliches Eigenpotential besitzt, mit nein beantwortet.

Bei allen übrigen Versuchen waren die Gitter horizontal gerichtet. Das untere Gitter wurde auf vier

Schemel von Stuhlhöhe gelegt. Das obere, meist geladene Gitter ruhte auf 4 Paraffinklötzen, die von ebensoviel Stativen gehalten wurden. Die Stative standen auf dem Fensterbrett und dem vorher erwähnten Tisch, der jetzt jedoch weiter vom Fenster entfernt werden musste. Der Ebonitstab mit dem Kollektor wurde durch eine Masche in der Mitte des unteren Gitters geführt. Das Stativ, das den Ebonitstab hielt, hatte nicht ganz die Höhe des untern Gitters. Auch wurde darauf geachtet, dass der Ebonitstab das Gitter nicht berührte. Sollte das untere Gitter geladen werden, so wurden Paraffinklötze auf die Schemel gelegt, sodass das Gitter gut isoliert war. Das obere Gitter wurde dann direkt in die Eisenstative geklemmt.

Die Messungen wurden zunächst bei 3 verschiedenen Abständen der Gitter von einander vorgenommen und zwar wurden die Abstände 68 cm, 62 cm, 51 cm gewählt. Grössere Entfernungen zu nehmen war nicht ratsam, da dann zu befürchten war, dass die Niveauflächen auch in der Mitte nicht mehr in Ebenen parallel zu den Gittern verliefen. Kleinere Abstände wären insofern höchst unbequem gewesen, weil es mir dann nicht mehr möglich gewesen wäre, zwischen die Gitter zu gelangen und die Höhe des Kollektors zu regulieren und zu messen. Der Ebonitstab war in dem Stativ nämlich nicht absolut fest eingeklemmt, sondern nur so, dass es leicht möglich war, von oben her den Stab aus dem Stativ nach Belieben weit herauszuziehen oder herabzubringen. Der Ort der Kollektoren wurde in der Weise bestimmt, dass ihre Entfernung von dem nicht geladenen Gitter aus gemessen wurde und zwar beim Salz bis zu der Stelle, wo sich das Salz befand, bei der Flamme bis zu ihrer Spitze, die 1 bis 2 cm über ihrer Basis lag.

Die Resultate der weiteren Untersuchung sind in Tabellen zusammengestellt, die ebenso angeordnet sind wie die bereits oben angeführte. Die in Klammern zu den Potentialwerten der Flamme und des radioaktiven Salzes hinzugefügten Ziffern geben an, um wie viel Volt diese Werte über dem zugehörigen theoretischen Wert liegen.

Tabelle II.

Oberes Gitter positiv geladen. Entfernung beider Gitter 68 cm.

cm	theor. Wert	Flamme	radioaktive Substanz (Zucker)	(Schellack)
10	29	—	53 (24)	50 (21)
12	35	89 (54)	—	—
20	59	—	85 (26)	85 (26)
22	65	114 (49)	—	—
35	103	—	130 (27)	126 (23)
37	109	155 (46)	—	—
50	148	—	170 (22)	167 (19)
52	154	195 (41)	—	—
54	160	—	182 (18)	177 (17)
68	202	—	—	—

Im Mittel giebt die Flamme in diesem Falle einen Wert, der um 48 Volt zu hoch ist; entsprechend $Ba\,Cl_2$ (Zucker) um 24 Volt und $Ba\,Cl_2$ (Schellack) um 21 Volt zu hoch. Man kann annehmen, dass die Kollektoren das Potential eines Ortes angeben, der einige Centimeter über ihnen liegt. Bei der Flamme würden es in diesem Falle 16 cm sein, bei $Ba\,Cl_2$ (Zucker) 8 cm und bei $Ba\,Cl_2$ (Schellak) 7 cm.

Tabelle III.

Oberes Gitter positiv geladen. Entfernung beider Gitter 62 cm.

cm	theor. Wert	Flamme	radioaktive Substanz (Zucker)	(Schellak)
10	31	—	57 (26)	51 (20)
12	38	87 (49)	—	—
20	65	—	90 (25)	88 (23)
22	71	124 (53)	—	—
30	98	—	121 (23)	120 (22)
32	104	154 (50)	—	—
40	130	—	153 (23)	150 (20)
48	156	200 (44)	—	—
50	163	—	181 (18)	177 (14)
62	202	—	—	—

In diesem Falle zeigt die Flamme im Mittel 49 Volt oder 15 cm, Ba Cl_2 (Zucker) 23 Volt oder 7 cm, Ba Cl_2 (Schellack) 20 Volt oder 6 cm zu hoch. Aus diesen Tabellen ist ersichtlich, dass die radioaktive Substanz je nach dem Klebemittel einen etwas verschiedenen Wert zeigt, und zwar beträgt die Differenz jedesmal 1 cm. Dies wird auch noch in Tab. IV bestätigt.

Tabelle IV gilt für den Fall, dass beide Gitter um 51 cm von einander entfernt waren. Wieder wurde stets das obere Gitter geladen, doch bald positiv, bald negativ. Gewöhnlich wurde die Ladung des Gitters gewechselt, ohne den Kollektor in seiner Stellung irgendwie zu verändern, um einen sicheren Vergleich zu gewinnen. Zu der Ueberschrift jeder Spalte ist eine Bemerkung bezüglich der Art der Ladung (ob positiv oder negativ) hinzugefügt. Die 5. und 6. Spalte geben die Werte an, die mit Hilfe eines gewöhnlichen von

Elster u. Geitel konstruirten Flammenkollektors (zwecks einfacher Bestimmung der atmosphärischen Elektricität) erreicht sind. Als Ort dieses Kollektors wurde der obere Rand des die Flamme umgebenden Metallcylinders betrachtet. Die beiden letzten Spalten der Tabelle gelten für den Kollektor mit $BaCl_2$ (Zucker), der diesmal aber nicht, wie sonst immer, seiner Längsachse nach vertikal sondern horizontal aufgestellt war. Befestigt wurde der Kollektor an dem Schraubengewinde des Ebonitstabes mit Hilfe von etwas Kupferdraht. Hierdurch wurde erreicht, dass das Salz vertikal gerichtet war und also der Emanation bezw. der die Luft jonisierenden Strahlen die Möglichkeit gegeben war, ebensoleicht nach unten wie nach oben zu gehen.

Aus Tabelle IV folgt mit absoluter Sicherheit, dass die Kollektoren verschiedene Werte geben, je nachdem das obere Gitter positiv oder negativ geladen ist. Ist das obere Gitter negativ geladen, so geben sie einen kleineren Wert, als wenn es positiv geladen ist. Die geringsten Abweichungen vom theoretischen Wert zeigt die vorletzte Kolonne. Das Salz ist hier vertikal gerichtet und das obere Gitter positiv geladen. Fast noch merkwürdiger sind die Resultate der letzten Spalte, wo der Kollektor ein Potential angiebt, das sogar unterhalb des thoretischen Wertes liegt. Diesen Versuchen stand ich anfangs skeptisch gegenüber. Doch neue Versuche bestätigten immer wieder das alte Resultat. Nachdem bereits die Gitter zwecks später zu beschreibender Versuche anders aufgestellt waren, wurde die Aufstellung für Tabelle IV noch einmal hergestellt. Statt des Eisenstativs wurde diesmal ein Holzstativ genommen, und dasselbe vom Fussboden durch Paraffin isoliert. Die hierbei gefundenen Resultate sind in der Rubrik 37 cm der Tabelle IV enthalten. Ferner wurde ein Versuch

Tabelle IV.

cm	theor. Wert	Flamme (+)	Flamme (—)	E.u.G (+)	E.u.G. (—)	$BaCl_2$(Zck.) (+)	$BaCl_2$(Sch.) (+)	$BaCl_2$(Zck.) vertik. (+)	(—)
10	40	—	—	—	—	60(20)	58(18)	—	—
12	48	—	—	—	—	—	—	44(—4)	34(—14)
13,5	54	103(49)	99(45)	—	—	—	—	55(+1)	40(—14)
20	79	—	—	—	—	105(26)	101(22)	77(-2),78(-1)	67(-12),71(-8)
23	91	—	—	130(39)	—	—	—	—	—
25	99	145(41)	140(41)	—	—	—	—	98(—1)	90(—9)
28	111	—	—	—	—	—	—	110(-1),112(+1)	102(—9)
30	119	163(44)	156(37)	—	—	145(26)	141(22)	—	—
31	123	—	—	—	—	—	—	122(—1)	112(—11)
33	131	—	—	166(35)	162(31)	—	—	—	—
33,5	133	—	—	—	—	—	—	132(—1)	—
35	139	—	—	—	—	166(27)	164(25)	136(—3)	129(—10)
37	147	—	—	—	—	—	—	146(—1)	135(—12)
51	202	—	—	—	—	—	—	—	—
mittlere Abweichuug	in Volt	46	41	37	31	25	22	—3	—11
	in cm	11	10	9	8	6	5	0	—3

gemacht, den Kollektor horizontal zu stellen mit möglichst geringer Verwendung von Metall zu seiner Befestigung an dem Ebonitstab, insbesondere unter Vermeidung des Schraubengewindes. Dies wurde durch Verwendung von Klebewachs erreicht. Es ergaben sich die für 31 cm in Tabelle IV verzeichneten Werte. —

Die Einstellung des Elektroskops auf einen konstanten Wert geschah bei den verschiedenen Kollektoren mit verschiedener Geschwindigkeit. Am schnellsten ging es bei der Flamme. Nach ca. $^3/_4$ Minuten war der endgültige Wert bereits erreicht. Bei dem $BaCl_2$ (Zucker) dauerte es etwa $1^1/_4$ Minuten, bei $BaCl_2$ (Schellack) etwa $1^1/_2$ Minuten. Die beiden Kollektoren mit radioaktivem Salz unterscheiden sich nur wenig. Für die weiteren Untersuchungen kam nur das mit Zucker angeklebte $BaCl_2$ zur Verwendung.

Tabelle V.

cm	th. W.	Flamme (+)	Flamme (−)	$BaCl_2$ (Zuck.) horiz. (+)	$BaCl_2$ (Zuck.) horiz. (−)	$BaCl_2$ (Zuck.) vert. (+)	$BaCl_2$ (Zuck.) vert. (−)
21,5	86	—	—	—	—	77(-9)	67(-19)
22,5	90	—	—	56(-34)	54(-36)	—	—
30,5	122	—	—	—	—	111(-11)	102(-20)
33,5	134	64(-70)	59(-75)	—	—	—	—
35,5	142	—	—	106(-36)	99(-43)	—	—
38	152	—	—	—	—	139(-13)	134(-18)
39,5	158	96(-62)	91(-67)	—	—	—	—
Mittlere Abweichg.	Volt	-66	-71	-35	-40	-11	-19
	cm	14	18	9	10	3	5

Will man die in den Tabellen II bis V enthaltenen Resultate zusammenfassen, so kann man sagen:

1) Mit Ausnahme eines Falles geben alle verwendeten Kollektoren das Potential einer Stelle an,

die oberhalb ihres thatsächlichen Ortes liegt; dabei ist es gleichgiltig, ob das obere oder untere Gitter mit positiver oder negativer Elektricität geladen ist. Die Ausnahme bildet der Kollektor mit dem radioaktiven Salz, wenn die Fläche des Salzes vertikal verläuft.

2) Die Differenz zwischen dem thatsächlichen Orte und der Wirkungsstelle des Kollektors ist bei der Flamme weit grösser als bei dem Salzkollektor.

3) Ist das obere Gitter geladen, so liegt bei positivem Potential der scheinbare Ort des Kollektors höher als bei negativem Potential. Ist dagegen das untere Gitter geladen, so liegt bei positivem Potential der scheinbare Ort des Kollektors niedriger als bei negativem Potential.

Eine ausreichende Erklärung dieser Resultate findet man, wenn man annimmt, dass die Jonen sich in grösserer Anzahl nach der Seite bewegen, auf der ihnen kein Hindernis entgegensteht, und dass das negative Jon leichter beweglich ist, als positive.

Damit ist zunächst 1) und 2) ohne Weiteres erklärt: Der Kollektor selber verhindert die Jonen, sich nach unten ebenso regelmässig auszubreiten wie nach oben. Ist das Salz vertikal gerichtet, so ist die Möglichkeit einer gleichförmigen Ausbreitung der Jonen nach oben und unten gegeben. Bei der Flamme kommt der aufsteigende Luftstrom, der die Bewegung begünstigt, hinzu.

3) Ist das obere Gitter negativ geladen, so werden die langsam beweglichen positiven Jonen langsam zum oberen Gitter geführt. Es bleiben dabei relativ viel positive Jonen in der Nähe des Kollektors. Ist das obere Gitter positiv geladen, so werden die negativen Jonen schnell fortgeführt und es bleiben nur positive

Jonen am Kollektor. In diesem zweiten Falle muss also das absolute Potential das höhere sein. Dem höheren Potential aber entspricht hier der höhnre Ort. Wenn das untere Gitter positiv geladen ist, bleiben wenig negative Jonen nahe am Kollektor. Es bleiben mehr positive Jonen am Kollektor, wenn das untere Gitter negativ geladen ist. Ist das untere Gitter positiv geladen, so wird also das höhere Potential erreicht, dem entspricht hier aber der niedrigere Ort.

4) ist nur eine Folgerung aus 3).

Bei den Tabellen II, III und IV fällt es auf, dass die Anzahl Volt, die der Kollektor über dem theoretischen Wert angiebt für die einzelnen Kollektoren nahezu dieselbe bleibt. Die entsprechenden Centimeter-Werte werden dagegen um so geringer, je weiter die Gitter einander genähert werden.

Für $BaCl_2$ (Zucker) lauten die Werte in Volt 24, 23, 25. Nimmt man das Mittel 24, so sieht man aus Tabelle IV, dass die Elster u. Geitelsche Lampe bei positiv geladenem oberen Gitter um 13 Volt höher zeigt als das Salz. Merkwürdiger Weise habe ich diesen Wert bei ganz anderen Versuchsbedingungen noch einmal wieder gefunden.

Nach Beendigung der beschriebenen Versuche lag es in meiner Absicht, auch im Freien einige Messungen mit dem Salz und der (Elster u. Geitel'schen) Lampe vorzunehmen. Die Messungen wurden an einem allseitig freien Ort in der Nähe der Stadt, dem sogenannten Lehmann'schen Felsen, ausgeführt. Die Methode der Messung war genau dieselbe wie die oben beschriebene. Das Elektroskop wurde von einem hohen Eisenstativ getragen. Der Kollektor wurde auf den Ebonitstab gesteckt und dieser nötigenfalls auf einen geeigneten Stock. Mit Hilfe einer Siegellack-Stange ver-

längerte ich den Messingcylinder, der das Salz trug, so, dass dieser Kollektor genau dieselbe Höhe hatte, als die bis zum Rande des Cylinders gemessene Lampe. Auf diese Weise wurde es ermöglicht, sehnell nach einander beide Kollektoren in derselben Höhe einzustellen.

Bei der ersten Messung war die Witterung anfangs trüb und regnerisch. Das Potential war sehr gering. Als die Sonne für kurze Zeit hervorkam, stieg das Potential sehr plötzlich um mehr als 90 Volt, sodass die Blättchen seitlich anschlugen und auf eine tiefere Stellung gegangen werden musste. Nach dem Verschwinden der Sonne wurden die Hauptmessungen vorgenommen während das Potential langsam abfiel.

Beobachtet wurde in zwei verschiedenen Höhen in der Reihenfolge Flamme, Salz, Flamme.

Höhe 90,5 cm	Höhe 132,0 cm
Flamme 97 Volt	Flamme 102 Volt
Salz 75 „	Salz 87 „
Flamme 79 „	Flamme 96 „

Nimmt man für die Flamme die Mittelwerte, so sieht man, dass die Differenzen zwischen den von Flamme und Salz angegebenen Potentialwerten 13 und 12 Volt sind.

Berechnet man den Potentialgradienten, so findet man denselben für die Flamme zu 0,27 Volt pro cm und für das Salz 0,30 Volt pro cm.

Bei einer zweiten Messung der atmosphärischen Elektricität an demselben Orte aber an einem andern Tage lagen die Verhältnisse ungünstiger, da sich das Potential ausserordentlich schnell änderte. Die hierbei erhaltenen Resultate sind deshalb wenig zuverlässig.

In einer Höhe von 130 cm betrug der Potentialunterschied in den Angaben von Flamme und Salz nur 6 Volt. Bei 131 cm Höhe betrug die entsprechende Grösse 12 Volt. Der Potentialgradient ergab sich für die Flamme zu 0,561, für das Salz zu 0,415 Volt pro cm. Daraus folgt, dass im Mittel die Flamme das Potential eines Ortes angiebt, der um 18,3 cm höher liegt als der entsprechende bei dem Salz.

Bemerkungen zu den Zeichnungen.

I. Gitter vertikal Abstand 50 cm positiv geladen.
II. „ horizontal „ 68 „ oberes Gitter + gel.
III. „ „ „ 62 „ „ „ + „
IVa. „ „ „ 51 „ „ „ + „
IVb. „ „ „ 51 „ „ „ — „
Va. „ „ „ 51 „ unteres „ + „
Vb. „ „ „ 51 „ „ „ — „

Als Abscissen sind die von dem an Erde gelegten Gitter an gerechneten Entfernungen der Kollektoren aufgetragen. Als Ordinaten die absoluten Werte des Potentials. Die ganz durchgezogenen Geraden geben den theoretischen Wert des Potentials an.

Bei IV b und V b geben die gestrichelten Linien den Verlauf der entsprechenden Linien in IV a und V a an.

• bedeutet kleiner Flammenkollektor.
•E „ Elster u. Geitel'sche Lampe.
› Kollektor mit radioakt. $BaCl_2$ (Zucker) Salz horizontal.
+ „ „ „ $BaCl_2$ (Zucker) „ vertikal.
⊙ „ „ „ $BaCl_2$ (Schellack) Salz horizont.

Über die elektrolytische Leitfähigkeit des radioaktiven Chlorbaryums.

Im Jahre 1900 gelang es dem Ehepaar Curie, ein sehr radioaktives Präparat herzustellen, dessen Grundbestandteil Chlorbaryum war. Das Atomgewicht des in diesem Salz enthaltenen Metalles bestimmten sie zu 174 [1]). Damit ist das Atomgewicht des Baryums um mehr als 36 Einheiten übertroffen.

Beim Vergleich der Leitfähigkeiten des aktiven und des nichtaktiven Chlorbaryums liess sich infolgedessen auch ein Unterschied vermuten. Auf Anregung von Herrn Professor Dorn unternahm ich es, über diesen Punkt Untersuchungen anzustellen.

Leider war es mir nicht möglich, zu einem positiven Resultat zu gelangen; aber dennoch sei es mir gestattet, einen Bericht über meine Untersuchungen und die von mir gemachten Erfahrungen mitzuteilen.

Zur Verwendung gelangte aktives Chlorbaryum der Aktivität 240 und 1000, das ich von der Société centrale de produits chimiques in Paris bezog. Zum Vergleich wurden Parallelversuche mit nicht aktivem Chlorbaryum angestellt. Dieses Salz stammte aus der chemischen Fabrik von Herrn Merck-Darmstadt. Anfangs lag es in meiner Absicht, auch vergleichende Versuche zwischen aktivem und nicht aktivem Brom-

[1]) Curie Compt. rend. 1900. Heft 6. p. 382.

baryum anzustellen. Dies Vorhaben wurde indessen bald aufgegeben, da das von E. de Haën bezogene aktive Salz nicht sonderlich rein erschien und besonders die notwendige Reinigung mit Alkohol nicht vertrug. Trotz äusserster Trockenheit des Alkohols löste sich ein grosser Teil des aktiven $Ba\,Br_2$ auf.

Es sollten wässrige Lösungen untersucht werden. Die Widerstandsmessungen geschahen mittels der Wheatstoneschen Brücke unter Verwendung von Wechselstrom und Telephon. Es wurde ein kleines Induktorium von etwa 10 cm Spulenlänge benutzt; der bereits leise Ton wurde noch dadurch weiter gedämpft, dass der Apparat auf Filz und Korkstücke gesetzt wurde. Ein Akkumulator lieferte den Primärstrom. Das Inductorium kam wie üblich in den Brückenzweig. Der Messdraht bestand aus Platiniridium und war über eine 1000 mm lange Holzskala gespannt. Dieser Draht, der an seinen Enden auf Messingschneiden auflag, wurde, nachdem er hier vorsichtig angelötet war, sorgfältig mit Hilfe eines Ostwaldschen Rheostaten auf die bekannte Weise kalibriert. Zu diesem Zweck mussten vorher die Korrektionen des Widerstandssatzes selber festgestellt werden. Die einzelnen Stücke wurden unter Zuhilfenahme eines Universalwiderstandes successiv mit einem in der Physikalisch-technischen Reichsanstalt verifizierten Wolff'schen Normalwiderstandes von 10 Ohm bei Zimmertemperatur verglichen und zeigten eine mittlere Abweichung von 0,02 Prozent. Mit einem von der Physikalisch-technischen Reichsanstalt gütigst zur Verfügung gestellten Normalwiderstand von 1000 Ohm wurde auch der Temperaturkoeffizient der aus Manganin bestehenden Widerstände des Ostwald'schen Rheostaten bestimmt. Aus 2 an verschiedenen Tagen angestellten

Messungen, die gut übereinstimmten, ergab sich für das 1000 Ohm-Stück des Widerstandssatzes der Temperaturkoeffizient 0,000012 (pro Grad und Ohm); für die übrigen ihrer Summe nach auch 1000 Ohm ausmachenden Stücke fand ich entsprechend 0,000027. Da die Schwankungen der Zimmertemperatur während der Hauptuntersuchungen, die von Ende September 1900 bis Februar 1901 währten, nur wenige Grade betrugen, so konnte also eine Korrektion wegen Änderung des Widerstandes unterbleiben. Das Auftreten elektrostatischer Ladungen bei Verwendung des Wechselstroms war nicht zu befürchten, da alle Rollen nach Chaperon gewickelt waren und keine mehr als 250 Ohm Widerstand enthielt. Das 1000 Ohm-Stück war nach Elsas in 4 Rollen getrennt (die einzelnen Abteilungen nach Chaperon) gewickelt. Hier mag gleich erwähnt werden, dass zur Messung sehr grosser Widerstände wie die des destillierten Wassers und des Alkohols, Graphitwiderstände verwendet wurden, deren Widerstand für jedesmaligen Gebrauch erst mittels eines Universalwiderstandes und Brückenschaltung bestimmt werden musste.

Zur Erreichung grösster Genauigkeit kam nicht der einfache Messdraht zur Verwendung, sondern nach dem Vorgange von Kohlrausch wurden zu beiden Seiten des Drahtes noch Zusatzwiderstände vorgeschaltet, die ebenfalls aus Platiniridium und zwar von derselben Sorte wie der Messdraht bestanden. Beide Zusatzwiderstände waren in weiten Spiralen um Holzgestelle gewickelt und befanden sich je in einem Kasten. Der auf der 0-Seite der Skala vorgeschaltete Kasten heisse I, der auf der anderen Seite II. Der eigentliche Messdraht hatte einen Widerstand von 41,894 Ω, der Kasten I entsprechend 83,821 Ω und Kasten II 83,760 Ω

Es ist nun zu berechnen, wieviel (es seien X) Tausendstel der ganzen Brücke, wenn diese aus dem Messdraht und I + II besteht, einer bestimmten Stelle x der Skala entsprechen. Mit Hilfe von Kohlrausch und Holborn: Das Leitvermögen der Elektrolyte p. 43 findet man: $X = 400{,}15 + 0{,}20000\ x$. Also $X = 400{,}15 + \frac{x}{5}$. Von dieser Ausrechnung muss bei x natürlich die Korrektion, die sich aus der Kalibrierung des Messdrahtes ergab, angebracht werden.

Um zu sehen, welche Genauigkeit bei der Widerstandsmessung zu erreichen war, wurden genau bekannte Widerstände mit der Brückenschaltung gemessen und gefunden, dass bei 5 verschiedenen Beobachtungen der mittlere Fehler 0,02 % betrug. Der Maximalfehler belief sich auf 0,06 %.

Als Thermostat wurde ein 12 bis 13 Liter haltendes Glasgefäss verwendet, das auf Filz stand und rings mit Filz und Staniol umkleidet war. Oben wurde das Gefäss, das mit Wasser von nahe 18 ° gefüllt wurde, ebenfalls soweit wie möglich mit Filz verschlossen. In dem grossen Gefäss hing noch ein kleines, dass nur 250 ccm fasste. In dieses kleine Gefäss wurde das Widerstandsgefäss gesetzt. Um das Auftreten einer Kapazität zu verhindern, wurde als Badflüssigkeit ein Nichtleiter verwendet; anfangs flüssiges Paraffin. Da sich dasselbe allmählich verdickte, ersetzte ich es durch Petroleum, sogenanntes Kaiseröl. Das Wasser- und Ölbad wurde durch Rührer während der Beobachtungen bewegt. Gewöhnlich wurden 30 bis 45 Minuten nach Einbringen des Widerstandsgefässes gewartet werden, um eine konstante Temperatur zu erhalten.

Zur Temperaturmessung benutzte ich ein Zehntelgrad-Thermometer. Dasselbe verglich ich mit einem

Normalthermometer, das von Herrn Prof. Dorn selbst korrigiert war. Bei 18 ° betrug die Korrektion meines Thermometers — 0,14 °.

Zur Bestimmung der Leitfähigkeiten wurden 3 Widerstandsgefässe benutzt, die die Bezeichnungen I, II, III erhalten mögen. Figur 1 veranschaulicht die Gestalt von I. Jede Elektrode dieses Gefässes hat eine wirksame Oberfläche von etwa 4 cm^2, der Rauminhalt des ganzen Gefässes beträgt etwa 20 ccm. II hat dieselbe Gestalt wie III; sie ist aus Figur 2 ersichtlich. Die Elektroden haben etwa die Grösse wie diejenigen von Gefäss I. Bei III sind dieselben weiter genähert als bei II. Jedes der Gefässe II und III hat einen Inhalt von ca. 25 ccm. Die Elektroden von I und II wurden nach dem von Lummer und Kurlbaum 1895 angegebenen Verfahren platiniert. Die Elektroden von III, das zur Widerstandsmessung des destillierten Wassers verwendet werden sollte, blieben blank.

Alle benutzten Glasgefässe waren aus Jenaer Geräteglas hergestellt. Erst nach gründlicher Auswässerung wurden sie in Gebrauch genommen. Stets wurde auf peinlichste Sauberkeit geachtet.

Das zum Lösungsmittel bestimmte Wasser stellte ich nach den Angaben von Kohlrausch und Holborn l. c. p. 111 durch zweifache Destillation aus Leitungswasser her. Ich erreichte im Mittel eine Leitfähigkeit des destillierten Wassers von $1{,}2 \cdot 10^{-6}$. Die Leitfähigkeit des destillierten Wassers wurde jedesmal von der gemessenen Leitfähigkeit der Lösung in Abzug gebracht. Sämtlichen Berechnungen liegen die von Kohlrausch und Holborn l. c. p. 1 neu eingeführten Einheiten zu Grunde. Es bezeichne $\varkappa$ das Leitvermögen, η die Konzentration, w den Widerstand, $C = \varkappa.w$ die Kapazität.

Die Kapazität von I wurde aus folgenden Daten bestimmt:

	Lösung	$10^3 . \eta$	$10^4 . \varkappa$	$\varkappa . w$
1	KCl	0,02	24,119	3,6538
2[a]	KCl	0,01	12,29	3,6581
2[b]	KCl	0,01	12,26	3,6601
3	NaCl	konzentr.	21,59	3,7154

Die mit 2[a] bezeichnete Lösung wurde aus 1 hergestellt durch Verdünnen.

Die innere Zuleitung x des Gefässes muss hierbei noch berücksichtigt werden. Aus 2[a] und 2[b] wurde das Mittel genommen. Aus 2 und 3 ergab sich $x = 0{,}260$ und $C = 3{,}6590$; entsprechend folgt aus 1 und 3 $x = 0{,}289$ und $C = 3{,}6531$. Als Mittel ergiebt sich $x = 0{,}275$ und $C = 3{,}6560$.

Zur Bestimmung der Kapazität von II dienten folgende Daten als Grundlage:

	Lösung	$10^3 . \eta$	$10^4 . \varkappa$	$\varkappa . w$
1.	KCl	0,1	111,8	0,15236
2.	KCl	0,02	24,01	0,15015
3.	KCl	0,01	12,23	0,14983

Aus 1 und 2 ergiebt sich $x = 0{,}252$ und $C = 0{,}14955$. Aus 1 und 3 ergiebt sich $x = 0{,}254$ und $C = 0{,}14952$. Der Mittelwert ist $x = 0{,}253$ und $C = 0{,}14953$.

Gefäss II wurde wenig benutzt, da wegen seiner kleinen Kapazität die Widerstände unbequem klein wurden, und dann das Tonminimum sich auf 2—3 mm der Brücke erstreckte. Bei Gefäss I konnte dagegen ein absolut scharfes Tonminimum mit einer Unsicherheit von höchstens $^1/_2$ mm erreicht werden.

Die Bestimmung der Kapazität von III erforderte keine besondere Genauigkeit. Es wurde die Leitfähigkeit von Leitungswasser mit Gefäss I und II zu $10^4.\varkappa = 7{,}76$ bestimmt, und mit demselben Leitungswasser dann die Kapazität von III zu $C = 0{,}0638$ ermittelt. Die innere Zuleitung dieses Gefässes konnte ausser Acht bleiben, weil in ihm nur Flüssigkeiten sehr geringer Leitfähigkeit gemessen wurden.

Bei den zur Verwendung gelangenden Substanzen musste grosses Gewicht auf ihre Reinheit gelegt werden. Eine Spektraluntersuchung in der Bunsenflamme ergab, dass alle Chlorbaryumsalze, die ich untersuchen wollte, Kalcium und Strontium enthielten. Mein Freund Herr Dr. Berndt fand gelegentlich seiner Untersuchungen über die Spektra von Radium und Polonium [1]), dass die von mir verwendeten radioaktiven Salze, besonders das von der Aktivität 1000, auch Blei enthielten. In dem Salz von der Stärke 240 war mit Sicherheit kein Blei zu konstatieren, auch trat hier auf Schwefelwasserstoff keine Reaktion ein. Anfangs kam nur diese schwächere Substanz zur Verwendung. Daher unterliess ich es zunächst, die Salze von Bleiverbindungen zu reinigen und ging nur darauf aus, die Strontium- und Calciumsalze fortzuschaffen. Da sich Baryumsalze so gut wie garnicht in Alkohol lösen, dies aber der Fall ist bei Strontium- und Calciumverbindungen, so wurden die fein zerriebenen Salze etwa 30 Minuten unter Anwendung eines Rückflusskühlers in wenig Alkohol gekocht und dann der Alkohol mit dem in Lösung gegangenen Bestandteil entfernt. Der Alkohol musste natürlich sehr rein sein. Käuflicher 99prozentiger Alkohol blieb mindestens

[1]) Berndt Physik. Zeitschrift.

24 Stunden über gebranntem Kalk, später über reinstem gebrannten Marmor stehen und wurde dann abdestilliert. Der nachher zur Verwendung gelangende Alkohol besass im Mittel eine Leitfähigkeit von $0{,}28 \cdot 10^{-6}$ und ist also als nahezu wasserfrei anzusehen. Kohlrausch giebt für reinsten Alkohol die Leitfähigkeit 0,18 bis $0{,}20 \cdot 10^{-6}$. Diese so behandelten Salze wurden dann durch Abdampfen gänzlich von Alkohol befreit und in einem mit Anilin geheizten Kessel 4 Stunden lang mit Unterbrechung getrocknet, dann im Exsikkator abgekühlt. Später bemerkte ich, dass die mit Alkohol behandelten Salze, nachdem sie geglüht waren, ein grauschwarzes Aussehen annehmen. Löste ich dann die Salze und filtrierte sie, so blieb ein schwarzer kohlenähnlicher Bestandteil auf dem Filter zurück, während das wieder auskrystallisierte Salz weiss wurde und auch nach abermaligem Glühen diese Farbe behielt. Vor der Alkoholbehandlung geglühte Salze änderten ihre Farbe nicht. Ich war also gezwungen, die bereits mit Alkohol behandelten Substanzen zu glühen, zu lösen und wieder auszukrystallisieren. Als später bei der Verwendung des Salzes von der Aktivität 1000 sich herausstellte, dass eine Reinigung von Blei auch notwendig wurde, wurde dieses sowie alle andern Salze mit Schwefelwasserstoff behandelt, um genaue Parallelversuche anstellen zu können. Es mussten denn im ganzen folgende Operationen angestellt werden: Das Salz wurde in destilliertem Wasser gelöst, durch die Lösung (die nicht erwärmt wurde, um keine Glaslösung zu erhalten) wurde längere Zeit Schwefelwasserstoffgas geleitet. Dann wurde die Lösung filtriert, eingedampft, das Salz fein zerrieben und in Alkohol gekocht. Der Alkohol wurde dann abgegossen, der Rest abgedampft, das Salz geglüht, gelöst und abermals

filtriert und auskrystallisiert. Bei den letzten Versuchen, die ich anstellte, wurden die Salze nur in Platingefässen abgedampft, um jede Glaslösung unmöglich zu machen, und ferner wurden nur Spiritusflammen verwendet, da zu befürchten war, dass die Flammengase des Leuchtgases etwas schweflige Säure enthielten und die Salze verunreinigten. Trotz der grössten angewandten Sorgfalt zeigte sich aber jedesmal bei der zur Messung fertiggestellten Lösung ein Niederschlag, der meist ganz rein weiss aussah und nur bisweilen, wenn nach dem Trocknen im Anilinkessel das Salz schon selbst eine etwas bräunliche Farbe angenommen hatte, gebräunt erschien. Dieser Niederschlag trat meist bei dem aktiven Salz in grösserer Menge auf als bei dem nicht aktiven Salz.

Das Abwägen des Salzes geschah in der Weise, dass zunächst ein Wägeglas im Anilinkessel 2 Stunden erhitzt und getrocknet und im Exsikkator abgekühlt wurde. Anfangs wurde ein Exsikkator mit Schwefelsäure verwendet, später wurde die Schwefelsäure mit Phosphorpentoxyd vertauscht. Das Gläschen wurde dann (indem es natürlich nur mit Lederhandschuhen angefasst wurde) bis auf zehntel Milligramm gewogen, und nun das Salz hineingethan. Salz und Glas wurden nun ebenso behandelt, wie vorher das Glas allein. Nach der Wägung wurde das Salz nebst Glasgefäss noch weitere 2 Stunden erhitzt, um zu sehen, ob noch eine weitere Gewichtsabnahme erfolgte. Das Glas war natürlich während der Wägung mit einem Deckel verschlossen, damit das Salz während der Wägung möglichst wenig Feuchtigkeit aufnahm. Später wurde die Wägung mit einem Hilfsglase derart durchgeführt, dass auf beiden Wagschalen möglichst identische und stets gleichmässig behandelte Gefässe gesetzt wurden und

somit die während der Wägung sich auf den trockenen Gefässen etwa niederschlagende Feuchtigkeit eliminiert wurde. Während der Zeit der Untersuchung wurden auch diese Wägegläschen variiert; anfangs kamen gewöhnliche käufliche Wägegläschen zur Verwendung, dann ganz kleine sogenannte Salmiakfläschchen, die sehr leicht waren und eine möglichst kleine Oberfläche hatten. Zuletzt benutzte ich Wägegläschen, die speziell zu meinem Zweck aus Jenaer Geräteglas hergestellt wurden.

Die Lösungen wurden alle nach Gewicht hergestellt.

Es lag in der Absicht, Lösungen der Konzentration $10^3\eta = 0{,}04$ herzustellen. Sämtliche aktiven und nicht aktiven Lösungen wurden so hergestellt, dass in Luft gewogen 1 g Salz auf 240,21 g Lösung kamen.

Im Folgenden gebe ich eine Zusammenstellung der wichtigsten Resultate.

A.

Die Salze sind völlig unbehandelt.

Akt. 1000	Akt. 240
$x = 0{,}0039524$	$x = 0{,}0039476$

B.

Die Salze sind von Strontium und Calcium gereinigt.

Akt. 240	Nicht aktiv.
$x = 0{,}0039172$	$x = 0{,}0039397$

C.

Die Salze sind ausserdem geglüht, filtriert und eingedampft.

Akt. 1000	Akt. 240	Nicht aktiv.
$[x - 0{,}0039289]$	$x = 0{,}0039336$	$x = 0{,}0039410$
$x = 0{,}0039130$	$x = 0{,}0039303$	

Der in Klammern gesetzte Wert ist thatsächlich durch Beobachtung gefunden. Es war indessen bei Berechnung der Lösung ein Rechenfehler untergelaufen. Unter Berücksichtigung dieses Fehlers ist der 2. Wert für Akt. 1000 aus dem 1. berechnet. Zieht man von Akt. 240 nur den ersten Wert in Betracht, so findet man, dass die Leitfähigkeit proportional der Aktivität abnimmt.

D.

Die Salze werden ausserdem von Bleiverbindungen gereinigt.

Akt. 1000	Akt. 240	Nicht aktiv.
$\varkappa = 0{,}0039310$	$\varkappa = 0{,}0039300$	$\varkappa = 0{,}0039450$
	$\varkappa = 0{,}0039250$	

E.

Zur Wägung wird ein Hilfsglas benutzt:

Akt. 1000	Akt. 240	Nicht aktiv.
$\varkappa = 0{,}0039530$	$\varkappa = 0{,}0039539$	$\varkappa = 0{,}0039433$
$\varkappa = 0{,}0039455$	$\varkappa = 0{,}0039579$	$\varkappa = 0{,}0039479$
	$\varkappa = 0{,}0039581$	
	$\varkappa = 0{,}0039451$	

F.

Es werden unbenutzte Substanzen genommen, die Lösungen werden nur in Platingefässen erwärmt. Statt der Leuchtgasflamme wird nur die Spirituslampe zum Erhitzen verwendet.

Akt. 1000	Akt. 240	Nicht aktiv.
$\varkappa = 0{,}0039433$	$\varkappa = 0{,}0039411$	$\varkappa = 0{,}0039447$
	$\varkappa = 0{,}0039415$	$\varkappa = 0{,}0039481$

Die Leitfähigkeiten für die aktiven Lösungen schwanken sehr stark. Diejenigen der nicht aktiven Lösungen bleiben in engen Grenzen und sind vom

Mittelwert um etwa 0,1 Prozent entfernt. Die mögliche Deutung, welche die Werte unter C zulassen, scheint bis zum gewissen Grade dem Zufall zu verdanken zu sein. Die Resultate unter F lassen erkennen, dass zwischen dem Leitvermögen der aktiven und der nicht aktiven Lösungen kein Unterschied besteht, der grösser als $^1/_{10}$ Prozent ist.

Zu bemerken ist noch, dass ich mich mehrfach bemüht habe, das Gewicht des erwähnten weissen Niederschlages, der auch in den letzten Lösungen auftrat, zu bestimmen. Die Lösung wurde zu diesem Zweck filtriert, der Filter mit dem Rückstand verbrannt und gewogen. Das Gewicht des verbrannten Filters allein wurde mit Hilfe möglichst identischer Filter bestimmt. Das dabei erzielte Resultat für das Gewicht des Lösungsrückstandes war bisweilen ein offenbar verkehrtes, so dass mir nichts übrig blieb, als den Rückstand unberücksichtigt zu lassen.

Für die aktiven Lösungen wurden sehr geringe Salzmengen von 0,3 bis 0,4 g verwendet, während die nichtaktiven Lösungen mit etwas grösseren Quantitäten angestellt wurden. Hierdurch lassen sich zum grossen Teil wahrscheinlich die grösseren Abweichungen der aktiven Lösungen untereinander erklären. Bei der Untersuchung sind zwei Punkte zu verzeichnen, für die nur eine zweifelhafte Erklärung möglich ist, 1) der schwarze Rückstand nach dem Glühen der mit Alkohol behandelten Salze, 2) der weisse Niederschlag in den fertigen Lösungen. Was den Punkt 1 betrifft, so hat man es wahrscheinlich mit einem Kohlenbestandteil zu thun, der möglichenfalls aus den geringen Mengen von Fuselöl, die der Alkohol enthalten mag, herstammt. Der weisse Niederschlag könnte vielleicht Bariumsulfat sein. Dabei bleibt es aber noch rätselhaft, wo der

Schwefelsäure-Bestandteil herkommt. Die in der Leuchtgasflamme etwa enthaltene schweflige Säure scheint nicht die Ursache zu sein, da der weisse Niederschlag auch bei Verwendung der Spirituslampe auftrat.

Die Aktivität der Substanz, deren Molekulargewicht Herr und Frau Curie untersuchten, ist leider nicht angegeben. Eine frühere Substanz hat die Aktivität 30 000 gehabt. Ferner stellten die Curies eine Substanz dar, die noch weit aktiver war, als die in Frage stehende und von der sie annahmen, dass sie zur Hälfte Chlorradium enthielt. Vielleicht ist es nicht zu weit fehlgegriffen, wenn man die Aktivität des reinen Chlorradiums auf 100 bis 150 000 festsetzt. Dann würde in dem Salz der Aktivität 1000 etwa 0,6 bis 1 Prozent Chlorradium enthalten sein. Das Atomgewicht des Radiums nehme ich zu 274, das ist das doppelte von dem des Baryums, an. Die entsprechenden Chlorverbindungen haben dann die Molekulargewichte 345 und 208. Für Lösungen gleicher Molekular-Koncentration setze ich das gleiche Leitvermögen an. Ferner denke ich mir in gleichen Lösungsmengen derselben Lösung die gleiche Molekulargewichtsmenge enthalten. Die Lösung des aktiven Salzes der Aktivität 1000 hat denn also zu 99,0 bis 99,4 Prozent die Leitfähigkeit $\varkappa_1$ des nicht aktiven Salzes, dagegen zu 0,6 bis 1 Prozent die Leitfähigkeit

$$\varkappa_2 = \frac{\varkappa_1 \,.\, 208}{345} = 0{,}603\ \varkappa_1.$$

Die Gesamtleitfähigkeit ist demnach:

$$\varkappa = 0{,}990\ \varkappa_1 + 0{,}010\ .\ 0{,}603\ \varkappa_1 \text{ bis}$$

$$\varkappa = 0{,}0994 \varkappa_1 + 0{,}006\ .\ 0{,}603\ \varkappa_1$$

oder

$$\varkappa = \varkappa_1\ .\ 0{,}99603 \text{ bis } \varkappa = \varkappa_1\ .\ 0{,}997618$$

Gegen die Leitfähigkeit des nicht aktiven Chlorbariums müsste also ein Unterschied von 0,24 bis 0,40 Prozent zu konstatieren sein.

Da dies bei meinen Messungen nicht der Fall ist, so kann man geneigt sein, anzunehmen, dass sich bei dem Vorgang der elektrolytischen Untersuchung des aktiven Salzes zwei Vorgänge entgegenwirken. Einmal musste durch das höhere Atomgewicht des Radiums die Leitfähigkeit vermindert werden, andererseits ist es nicht unwahrscheinlich, dass durch die Gegenwart des Radiums eine Jonisation vielleicht des Lösungsmittels verursacht wird, wodurch die Leitfähigkeit der Lösung wieder verbessert würde. — Wenn nicht das Spektrum des aktiven Chlorbaryums eine ganze Anzahl neuer Linien zeigte, könnte man an eine einfache Polymerisation des $Ba\,Cl_2$ denken.

Vita.

Natus sum ego Fridericus Henning die XI. mens. Sept. a. s. p. LXXVII in vico quodam Marchiae, cui nomen est Carlsburg, patre Arminio, matre Lina e gente Dudy, quos etiamnunc vivere summopere gaudeo. Fidei additus sum evangelicae. Elementa prima litterarum didici Sedinae in gymnasio reali quod dicitur „Schiller - Realgymnasium". XIIX mensibus praeteritis Sedina discessi. Per tres annos a praeceptore domestico litteris instructus gymnasium reale Sediniense iterum frequentavi. Ibi testimonium maturitatis vere anni s. p. XCVIII accepi. Deinde in universitatibus Berolini et Halarum studiis me dedi mathematicis, physicis, philosophis. Per sexies sex menses interfui scholis, exercitationibus, seminariis virorum doctissimorum Cantor, Dorn, Eberhard, Fischer, Fries, Geiger, Grassmann, Haym, Hensel, Knoblauch, Lehmann-Filhés, Lorenz, Riehl, Schmidt, Schultze, Volhard, Wangerin, Warburg, Weinstein. Quibus omnibus viris optime de me meritis, imprimis vir. ill. Dorn, qui privatis me consiliis benevolentissime semper adiuvit, gratias quam maximas habeo ac semper habebo.

Thesen.

I.

Es liegen bisher keine Versuche vor, die beweisen, dass die Emanation der radioaktiven Substanzen ein Gas ist.

II.

Die Vektorenrechnung verdient grössere Verbreitung als es bisher der Fall ist.

III.

Idee und Experiment müssen sich gegenseitig ergänzen.

Tafel 1 zu der Arbeit über die inducierte Aktivität.

Fig. 1.

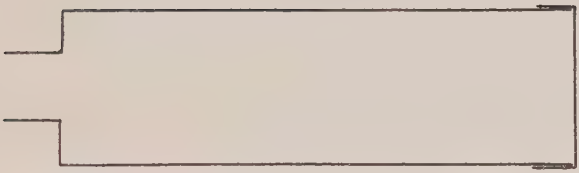


Fig. 2.

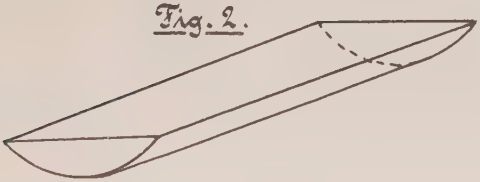


Fig. 3.

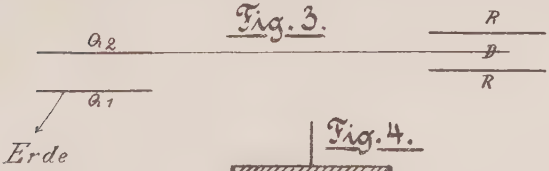
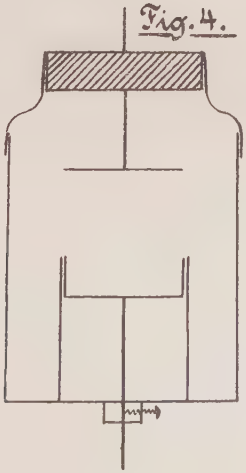
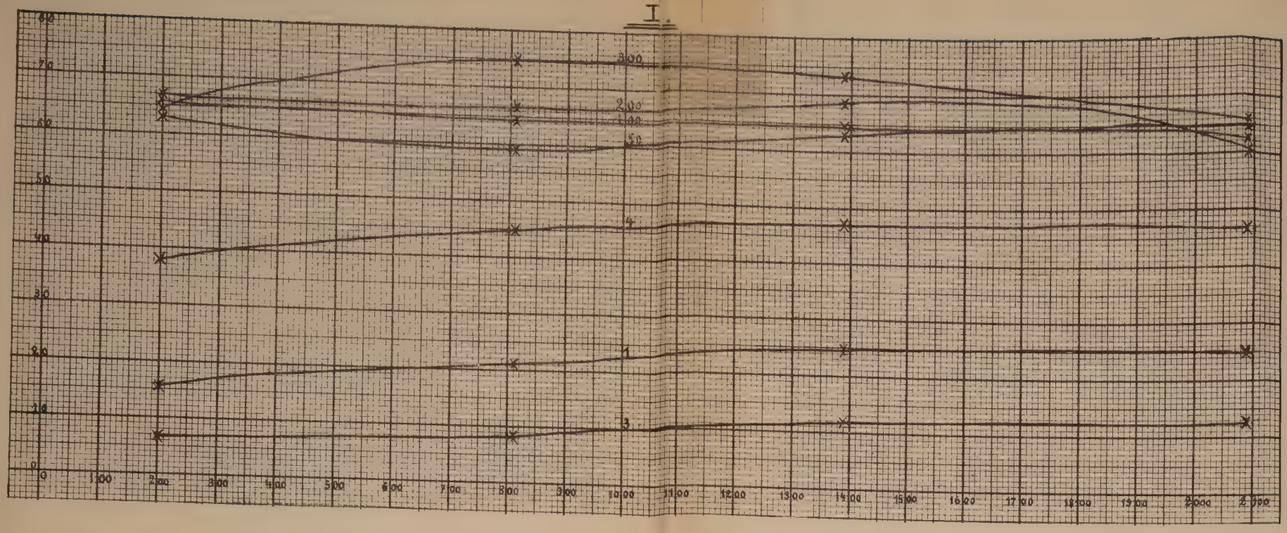


Fig. 4.

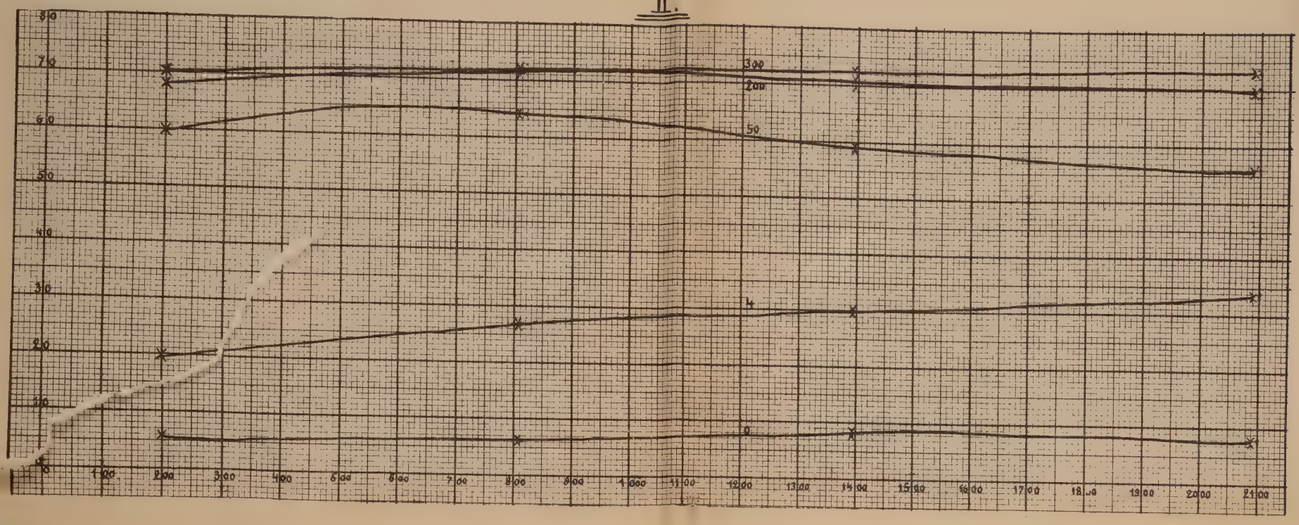


Tafel 2 zu der Arbeit über die inducierte Aktivität.

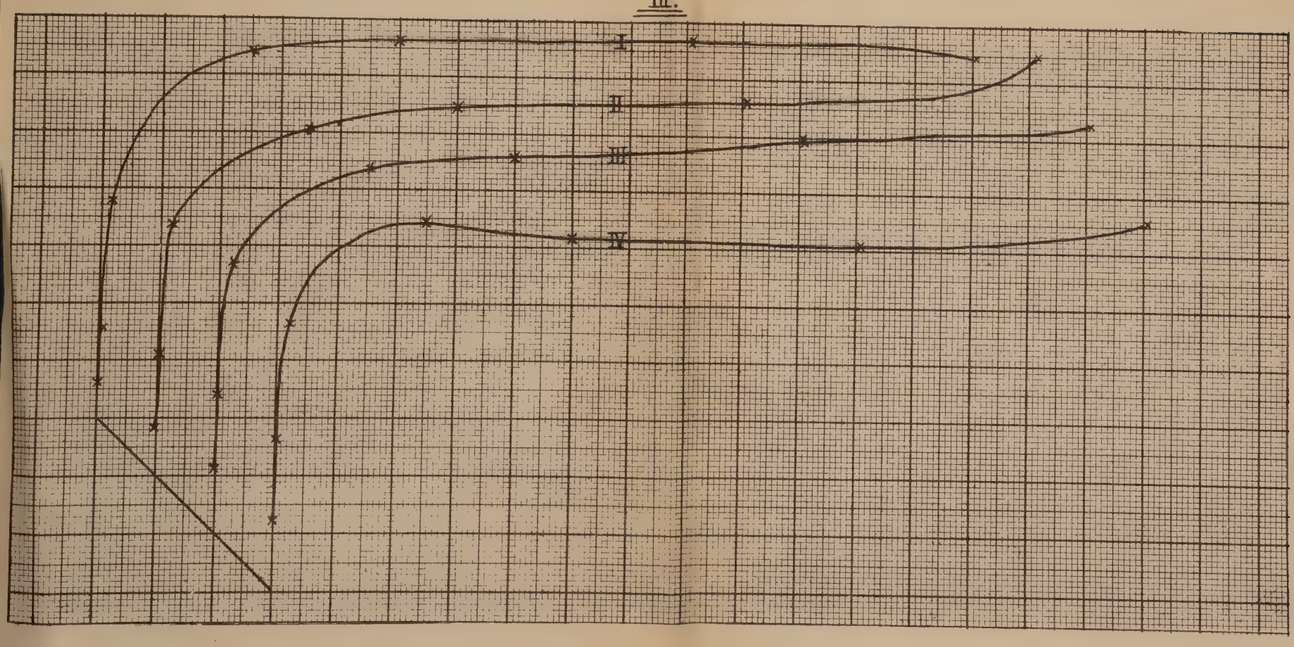
I.



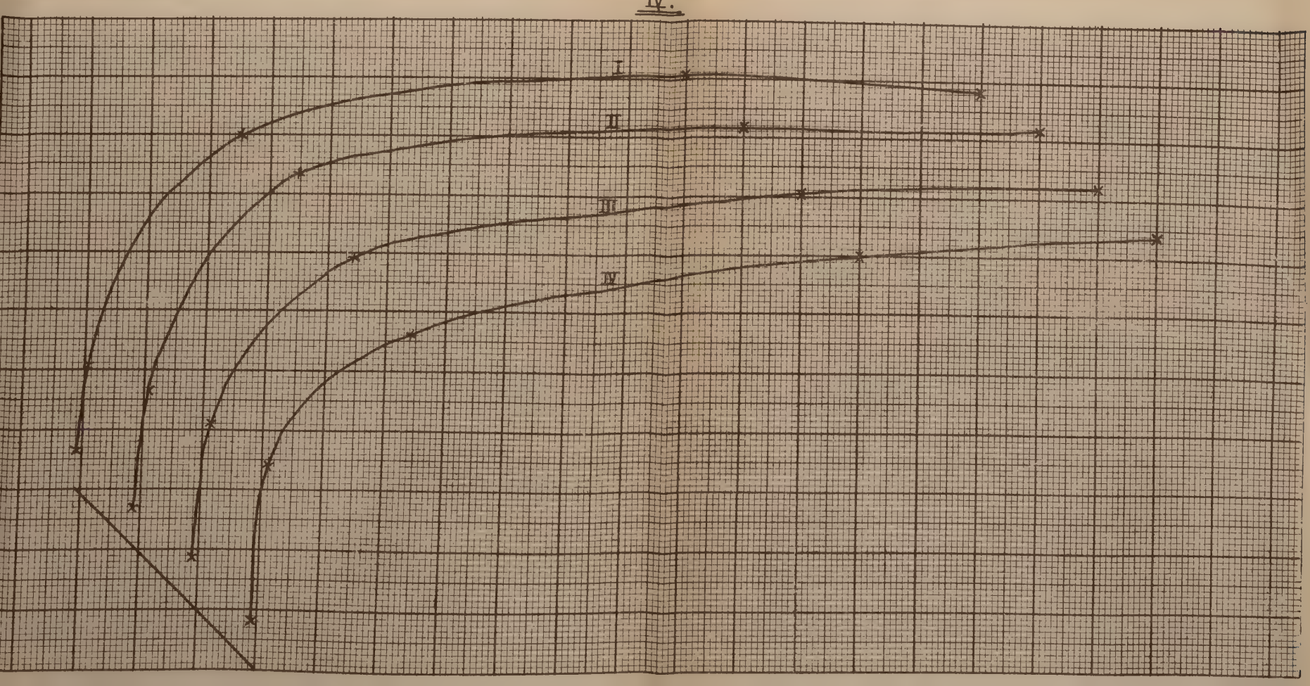
II.



III.

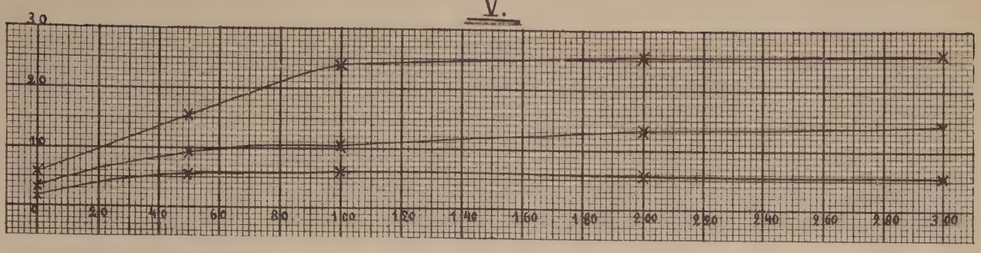


IV.

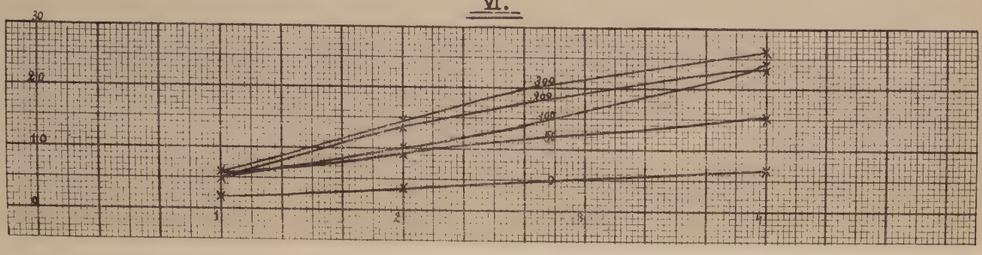


Tafel 3 zu der Arbeit über die inducierte Aktivität.

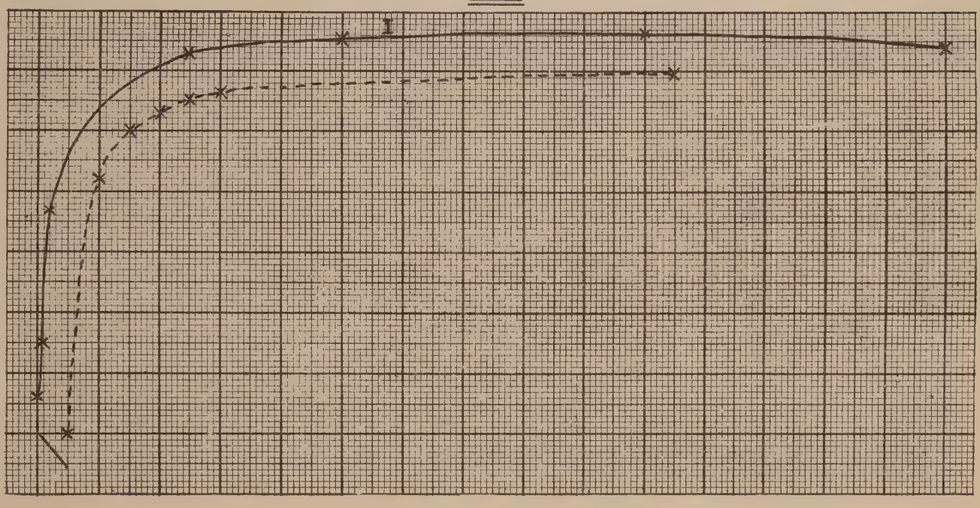
V.



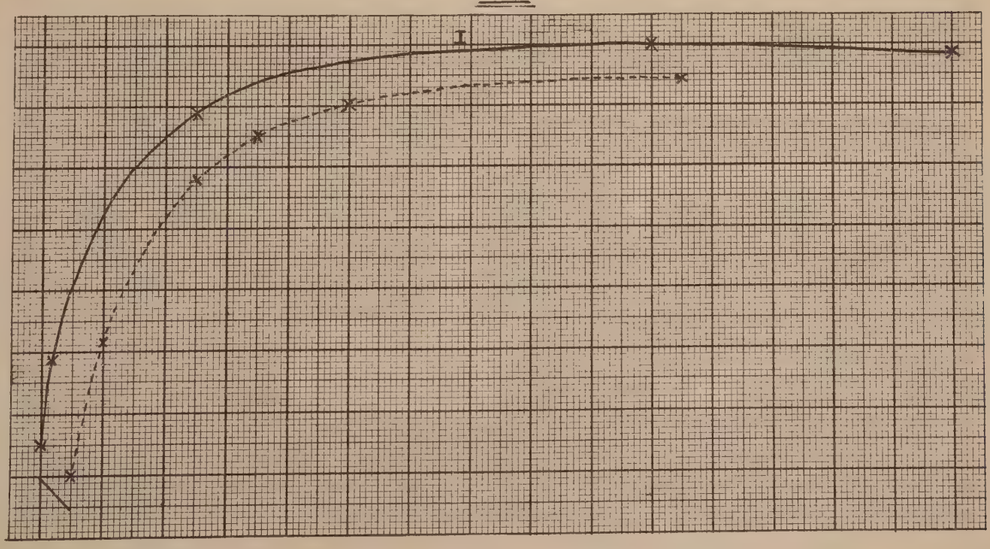
VI.



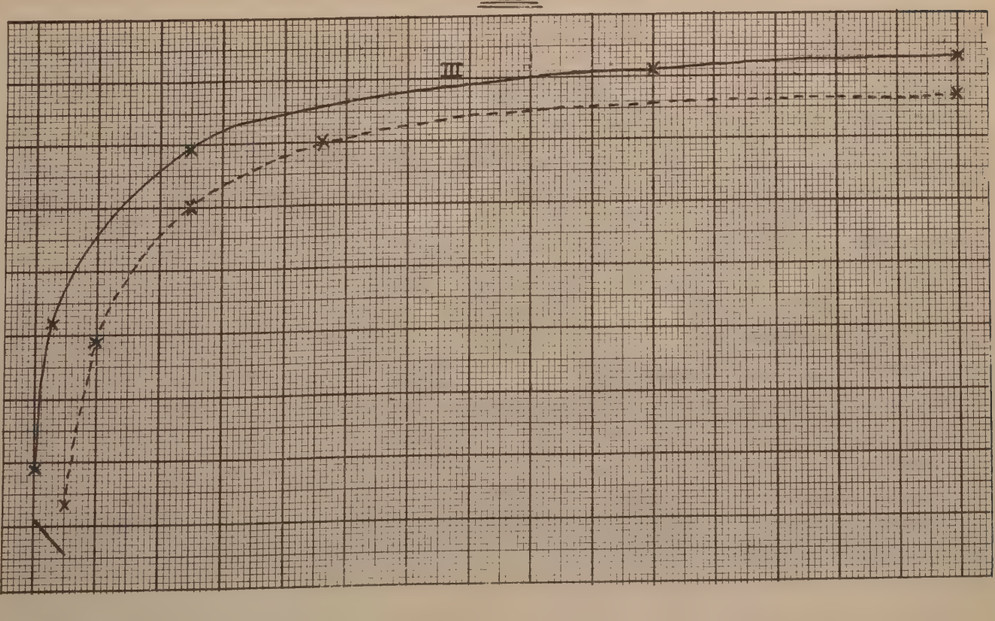
VII.



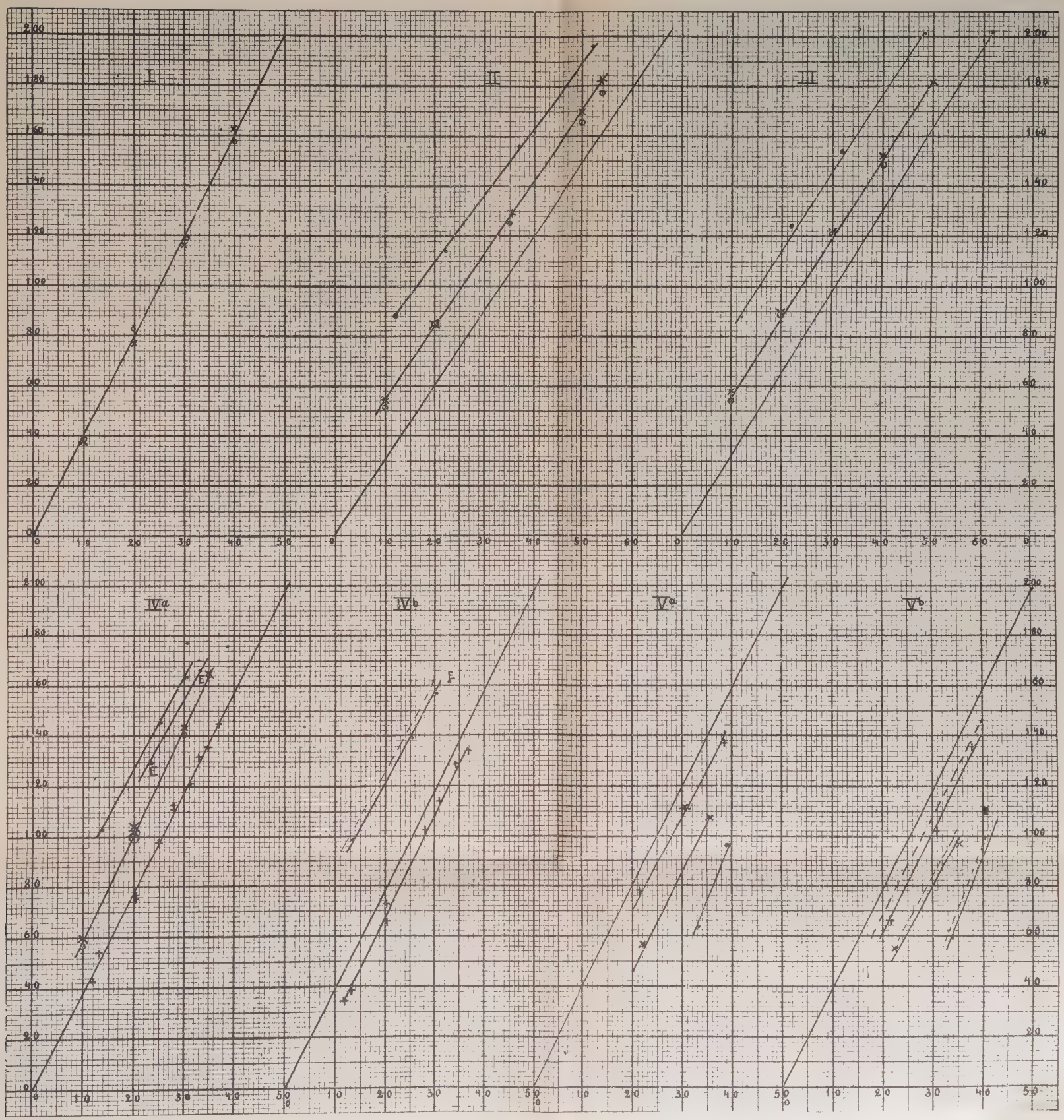
VIII.



IX.



Tafel 4 zu der Arbeit über die vergleichenden Messungen des elektrischen Potentials.



Tafel 5 zu der Arbeit über die elektrolytische Leitfähigkeit des radioaktiven Chlorbaryums.

Fig. 1.

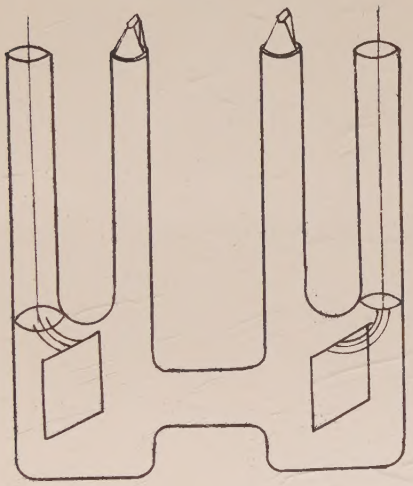
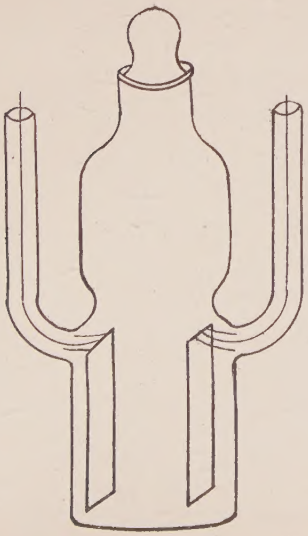



Fig. 2.